İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BATARYA ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMLERİNİN ELEKTRİK DAĞITIM SİSTEMİNE ETKİSİ VE SEZGİSEL ALGORİTMALAR İLE FAZ DENGESİZLİĞİNİN GİDERİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ali ÖZAN

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mustafa BAĞRIYANIK

Temmuz 2020

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BATARYA ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMLERİNİN ELEKTRİK DAĞITIM SİSTEMİNE ETKİSİ VE SEZGİSEL ALGORİTMALAR İLE FAZ DENGESİZLİĞİNİN GİDERİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ali ÖZAN
504171005

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mustafa BAĞRIYANIK

Temmuz 2020

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 504171005 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Ali ÖZAN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "BATARYA ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMLERİNİN ELEKTRİK DAĞITIM SİSTEMİNE ETKİSİ VE SEZGİSEL ALGORİTMALAR İLE FAZ DENGESİZLİĞİNİN GİDERİLMESİ" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Adı Mustafa BAĞRIYANIK** .....
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Güven KÖMÜRGÖZ KIRIŞ** .....
İstanbul Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Gürkan SOYKAN .....
Bahçeşehir Üniversitesi

Teslim Tarihi : 15 Haziran 2020
Savunma Tarihi : 14 Temmuz 2020

Aileme, hocalarıma ve arkadaşlarıma,

ÖNSÖZ

Tez konusunun belirlenmesinden tezin son aşamasına kadar bana yol gösteren, yoğun iş temposu arasında çok değerli vakitlerini ayırarak bana destek olan, akademik kariyerime başladığım günden beri tecrübeleriyle bana ışık tutan değerli tez danışman hocam Prof. Dr. Mustafa BAĞRIYANIK'a,

Lisans ve yüksek lisans süreçlerinde yardım, bilgi ve tecrübeleri ile bana sürekli destek olan İTÜ Elektrik bölümündeki tüm hocalarıma,

Araştırma görevlisi olarak geçirdiğim zaman içerisinde bana yol gösteren, hep yanımda olan, daha iyi bir akademisyen olmamda katkıları olan tüm çalışma arkadaşlarıma, özellikle tez yazımı sırasında nefes almamı sağlayan İsmethan HANEDAR ve Halil İbrahim ÜÇKOL'a,

Proje numarası MYL-2018-41658 olan bu çalışmaya sağladıkları destek için İTÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine,

Hayatımın bütün heyecanlı anlarında yanımda olan, bana arkadaşlığın ne demek olduğunu öğreten, bütün kötü yönlerimle beni seven arkadaşlarım Salih Can DÖNMEZ, Barış TEKİN ve Sabih YALINBAŞ'a,

Son olarak her zaman iyi ki onların çocukları olmuşum dediğim, bana sevgiyi öğreten, her zaman beni destekleyen annem Uğur ÖZAN ve babam Ergin ÖZAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Temmuz 2020 Ali ÖZAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ vii
İÇİNDEKİLER ix
KISALTMALAR xi
SEMBOLLER xiii
ÇİZELGE LİSTESİ xv
ŞEKİL LİSTESİ xvii
ÖZET xix
SUMMARY xxi
1. GİRİŞ 1
1.1 Tezin Amacı 5
1.2 Literatür Araştırması 5
2. BATARYA ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMLERİ 9
2.1 Elektriksel Batarya Modelleri 10
2.1.1 Basit Batarya Modeli 10
2.1.2 Modifiye batarya modeli 11
2.1.3 Direnç-Kapasite (RC) batarya modeli 11
2.1.4 Thevenin batarya modeli 12
2.1.5 PNGV batarya modeli 13
2.1.6 Empedans tabanlı batarya modeli 13
2.2 BEDS Uygulamaları 14
2.2.1 Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Sisteme Entegrasyonu 14
2.2.2 Frekans Kontrolü 14
2.2.3 Gerilim Kontrolü 15
2.2.4 Güvenilirlik 15
2.2.5 Güç Kalitesi 15
2.2.6 Puant Yükü Azaltma 16
2.2.7 Döner Rezerv 16
2.2.8 Ada Çalışma 17
2.2.9 Ulaşım Sistemleri 17
3. GÜÇ SİSTEMLERİNDE DENGESİZ ÇALIŞMA VE ETKİLERİ 19
3.1 Dengesizlik Çeşitleri 20
3.1.1 Gerilim Dengesizliği 20
3.1.1.1 NEMA 21
3.1.1.2 PVUR 21
3.1.1.3 VUF 21
3.1.2 Akım Dengesizliği 22
3.1.3 Güç Dengesizliği 22
3.2 Dengesiz Çalışmanın Etkileri 22
3.3 Dengesizliği Önleme Yöntemleri 23
3.4 BEDS'ler ile Dengesizliğin Önlenmesi 24
4. ÖRNEK SİSTEM İNCELEMELERİNDE KULLANILAN SEZGİSEL ALGORİTMALAR 25
4.1 Çok Amaçlı Optimizasyon 25
4.1.1 Ağırlıklı Toplam Yöntemi 27
4.1.2 Optimizasyon Probleminde Kısıtlar 28
4.2 Kullanılan Optimizasyon Yöntemleri 29

4.2.1 Parçacık Sürüsü Optimizasyonu 29
4.2.2 Genetik Algoritma 31
5. ÖRNEK SİSTEM İNCELEMELERİ 35
5.1 Orijinal ve Yüklerin Arttırıldığı Durum 36
5.2 Sistemdeki BEDS'lerin Tümünün Kontrolünün Şebekeye Bağlı Olması 38
5.3 Sistemdeki BEDS'lerden Birkaçının Kontrolünün Şebekeye Bağlı Olması 42
6. SONUÇ VE ÖNERİLER 45
KAYNAKLAR 49
EKLER 53
ÖZGEÇMİŞ 59

KISALTMALAR

BEDS **:** Batarya Enerji Depolama Sistemi
BYS **:** Batarya Yönetim Sistemi
EA **:** Elektrikli Araç
EDS **:** Enerji Depolama Sistemi
EİGM **:** Enerji İşleri Genel Müdürlüğü
GA **:** Genetik Algoritma
IEA **:** Ulusal Enerji Ajansı
IEC **:** International Electrotechnical Commission
IEEE **:** Institute of Electrical and Electronics Engineers
NEMA **:** National Electrical Manufacturers Association
PSO **:** Parçacık Sürüsü Optimizasyonu
SoC **:** Batarya Şarj Durumu
SoH **:** Bataraya Sağlık Durumu
TEİAŞ **:** Türkiye Elektrik İletim A.Ş.

SEMBOLLER

$\mathbf{I}$	**:** Hattan akan akım
$\mathbf{I_1}$	**:** Akımın pozitif bileşeni
$\mathbf{I_2}$	**:** Akımın negatif bileşeni
$\mathbf{LD_i}$	**:** i. baraya ait yük dengesizliği indeksi
$\mathbf{P_{kayıp}}$	**:** Sistemdeki toplam kayıp
$\mathbf{R}$	**:** Hattın direnci
$\mathbf{S_i}$	**:** i. baradan çekilen görünür güç
$\mathbf{S_i^{maks}}$	**:** i. baradan çekilebilecek maksimum görünür güç
$\mathbf{V_0}$	**:** Gerilimin sıfır bileşeni
$\mathbf{V_1}$	**:** Gerilimin pozitif bileşeni
$\mathbf{V_2}$	**:** Gerilimin negatif bileşeni
$\mathbf{V_{LL}}$	**:** Faz arası gerilim
$\mathbf{V_{LN}}$	**:** Faz-nötr gerilimi
$\mathbf{V_{ORT}}$	**:** Faz arası gerilimlerin ortalaması
%VUF	**:** Gerilim dengesizliği oranı

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 5.1 : BEDS'lerin optimizasyonda kullanıldığı çalışma durumları. 36
Çizelge 5.2 : IEEE 34 bara test sisteminde değiştirilen yükler..... 37
Çizelge 5.3 : IEEE 34 bara test sisteminin orijinal ve yük arttırıldığındaki durumu. 37
Çizelge 5.4 : Test sisteminde 890 ve 852 numaralı baraların faz-nötr gerilimleri. ... 37
Çizelge 5.5 : Sistemde 3 ve 4 tane BEDS varken kayıplar ve maksimum %VUF değerleri. 38
Çizelge 5.6 : Sistemde 3 ve 4 adet BEDS varken optimizasyon sonuçları..... 39
Çizelge 5.7 : Sistemde 3 ve 4 adet BEDS varken optimizasyon sonucundaki çalışma durumları..... 40
Çizelge 5.8 : 824 numaralı baradaki BEDS yönetilemediği durumdaki optimizasyon sonuçları..... 43
Çizelge 5.9 : 824 numaralı baradaki BEDS'nin faz dengeleme için kullanılmadığı durumdaki BEDS'lerin çalışma durumları. 43
Çizelge A.1 : IEEE 34 bara test sisteminde bulunan yükler..... 54
Çizelge A.2 : IEEE 34 bara test sisteminin bara gerilimleri ve %VUF değerleri 55
Çizelge A.3 : IEEE 34 bara test sisteminde yüklerin değiştirildiği durum için bara gerilimleri ve %VUF değerleri 56
Çizelge A.4 : Sistemde kullanılan BEDS'lerin aktif güçleri 57

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Türkiye'nin 10 yıllık elektrik tüketimi [2]. 1
Şekil 1.2 : Türkiye'nin 20 yıllık enerji tüketimi tahmini [3]. 2
Şekil 1.3 : 2018 yılında Türkiye'de elektrik enerjisi üretiminin kaynaklara göre dağılımı [2]. 2
Şekil 2.1 : Basit batarya modeli eşdeğer devresi. 10
Şekil 2.2 : RC batarya modeli eşdeğer devresi. 12
Şekil 2.3 : Thevenin tabanlı batarya modeli eşdeğer devresi. 12
Şekil 2.4 : PNGV batarya modeli eşdeğer devresi. 13
Şekil 2.5 : Empedans tabanlı batarya modeli eşdeğer devresi [31]. 13
Şekil 2.6 : BEDS'ler ile puant yükü azaltma [39]. 16
Şekil 3.1 : a: 3 fazlı dengeli sistem b: 3 fazlı dengesiz sistem..... 20
Şekil 3.2 : Simetrili bileşenler [44]. 20
Şekil 4.1 : Optimizasyonda kullanılan akış diyagramı. 26
Şekil 4.2 : Pareto Cephesi [51]. 27
Şekil 4.3 : Belirlenen kısıtlarla beraber optimizasyonda kullanılan akış diyagramı. 29
Şekil 4.4 : PSO akış diyagramı. 31
Şekil 4.5 : GA akış diyagramı..... 33
Şekil 5.1 : IEEE 34 bara test sistemi tek hat şeması. 35
Şekil 5.2 : 3 adet BEDS varken ikinci amaç fonksiyonu için GA sonucu. 41
Şekil 5.3 : 3 adet BEDS varken ikinci amaç fonksiyonu için PSO sonucu. 41
Şekil 5.4 : Optimizasyon sonucunda kayıplar ve maksimum %VUF'da azalmalar.. 42
Şekil 5.5 : 824 numaralı baradaki BEDS yönetilemediği durumda yapılan optimizasyonlardan sonra kayıplar ve maksimum %VUF'daki azalmalar. 44
Şekil A.1 : Sistemde 3 adet BEDS varken sistemin tek hat şeması..... 57
Şekil A.2 : Sistemde 4 adet BEDS varken sistemin tek hat şeması..... 57

BATARYA ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMLERİNİN ELEKTRİK DAĞITIM SİSTEMİNE ETKİSİ VE SEZGİSEL ALGORİTMALAR İLE FAZ DENGESİZLİĞİNİN GİDERİLMESİ

ÖZET

Elektrik üretiminde kullanılan kaynakların çoğu fosil yakıtlardan oluşmaktadır. Fosil yakıtların zamanla tükenecek olması ve çevreye verdikleri zararlardan dolayı ülkeler yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmişlerdir. Aynı şekilde ulaşımda da fosil yakıtlar yerine çevreye daha az zararlı olan elektrikli araçlar (EA) kullanılmaya başlanmıştır. EA'lar çevre için olumlu bir çözüm olsalarda elektrik sisteminde kullanımlarının artması bazı sorunlara neden olacaktır. Öncelikle EA'ların yaygınlaşmasıyla birlikte sistemdeki şarj istasyonu sayısı ve sistemin yüklenme oranı artacaktır.
Yenilenebilir enerji kaynaklarının ve elektrikli araç şarj istasyonlarının sistemde artması elektrik güç kalitesi sorunlarına, güvenilirliğin azalmasına, kayıpların artmasına neden olacaktır. Bu olumsuzluklara yenilenebilir enerji kaynaklarının ve EA'ların düzensizliği neden olmaktadır. Ayrıca EA'ların tek fazlı olması ve üç faza eşit dağıtılamaması nedeniyle sistemde faz dengesizliği sorunları ortaya çıkacaktır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının ve EA'ların sistemde yarattıkları sorunları önlemek için batarya enerji depolama sistemleri (BEDS) kullanılmaktadır. BEDS'ler sistemde frekans ve gerilim kontrolü, güç kalitesi ve güvenilirliği arttırma, puant yükü azaltma gibi konularda kullanılmaktadır. Ayrıca BEDS'ler ada çalışmaya geçiş için çok önemli bir rol oynarlar.

BEDS'ler uygulama alanlarına göre elektriksel, kimyasal ve istatistiksel olarak modellenebilmektedirler. Elektrik mühendisleri için önemli olan BEDS'lerin elektriksel modelleridir. Birçok elektriksel model içinden kullanılacak uygulamaya uygun modelin seçilmesi gerekmektedir. Uygun model seçimi benzetim uygulamalarının daha kolaylaşmasını sağlamaktadır.

Bu çalışmada BEDS'ler, sistemde oluşabilecek faz dengesizliğini ve kayıpları azaltmak için kullanılmışlardır. Faz dengesizliği, fazların genliklerinin veya fazlar arasındaki açıların birbirinden farklı olmasından kaynaklanır. Sistemde faz dengesizliği arttığında makineler ve transformatörler zarar görebilir, güç elektroniği devrelerinin verimi azalır, nötr hattından akım aktığından kayıplar artar ve koruma cihazları yanlış devreye girebilirler. Dağıtım şirketleri bu gibi durumlar yüzünden faz dengesizliğini sınırlar içerisinde tutmak zorundadırlar.

Faz dengesizliği, gerilim dengesizliği, akım dengesizliği ve güç dengesizliği olarak üç grupta incelenebilir. Gerilim dengesizliği, faz dengesizliği içinde en önemlisi olduğundan örnek sistem incelemeleri gerilim dengesizliği dikkate alınarak yapılmıştır. Gerilim dengesizliği standartlarda farklı şekilde tanımlanmaktadır. Bunlardan en çok kullanılanı Uluslararası Elektroteknik Komisyonu'nun (IEC) tanımladığı gerilim dengesizliğidir.

Faz dengesizliğini azaltmak için üç fazlı yönetilebilir BEDS'ler yerine ayrık faz temelli yönetilebilir BEDS'ler faz dengesizliğini azaltmak için kullanılmışlardır. Her bir fazdaki BEDS ayrı ayrı yönetilerek, yükün az olduğu fazlarda şarj konumunda, yükün fazla olduğu fazlarda deşarj konumunda çalışarak faz dengesizliğini azaltabilmektedirler.

Önerilen yöntemdeki çok amaçlı optimizasyon probleminin çözümünde GA ve PSO gibi sezgisel algoritmalar kullanılmıştır. Sistemde oluşan maksimum gerilim dengesizliği ve sistemdeki aktif kayıpların azaltılması amaç fonksiyonu olarak belirlenmiştir. Çok amaçlı optimizasyon problemini kolay bir şekilde çözebilmek için optimizasyon ağırlıklı toplam yöntemiyle birlikte tek amaçlı optimizasyon problemine dönüştürülmüştür. Tek amaçlı optimizasyondaki ağırlıkların sonuçlara etkisi gözlemlenmiştir.

Tezin ilk kısmında konuya giriş yapılmış ve literatür özetlenmiştir. İkinci bölümde BEDS'lerin farklı modelleri verilerek, uygulama alanları incelenmiştir. Daha sonraki bölümde ise çalışmanın ana konusu olan faz dengesizliği çeşitleri verilerek, sistemde oluşturabileceği etkiler belirtilerek faz dengesizliği önleme yöntemleri açıklanmıştır.

Dördüncü ve beşinci bölümde kullanılacak yöntemler ve optimizasyon problemi genel hatlarıyla açıklanmış ve test sistemi üzerinde çeşitli durum incelemeleri için sonuçlar verilmiştir. Ayrıca GA ve PSO yöntemleri detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Son bölümde ise çalışma özetlenerek tezin sonuçlarıyla ilgili genel bir görüş verilmiştir.

THE EFFECT OF BATTERY ENERGY STORAGE SYSTEMS ON THE ELECTRICAL DISTRIBUTION SYSTEM AND DECREASING PHASE UNBALANCE WITH HEURISTIC ALGORITHMS

SUMMARY

Most of the resources used in electricity generation are fossil fuels. Fossil fuels pollute the environment and cause global warming. If global warming continues to increase like this, the world will become uninhabitable in time. Therefore, renewable energy sources have been widely used instead of fossil fuels. If renewable energy sources are used instead of fossil fuels, the carbon dioxide emission in the air will be considerably reduced. In addition, electric vehicles (EV), which are less harmful to the environment, have been used instead of fossil fuels in transportation. Although EVs are a positive solution for the environment, the increase in their use in electrical distribution system will cause some problems in distribution system. With the widespread use of EV, the number of electric vehicle charging stations will also increase in electrical distribution system.

Customers always want a reliable, high quality and economical electrical energy. On the other hand, increase of renewable energy sources and electric vehicle charging stations in the system will cause electrical power quality problems, decreased reliability and increased losses. These problems are caused by the variability of renewable energy sources and EA's. In addition, due to EV's being single-phase and cannot be distributed equally to three phases, phase imbalance problems will arise in the system. Distribution companies should avoid these problems. Therefore, they need an effective solution for avoiding these kinds of problems.

Battery energy storage systems (BESS) are used to prevent problems caused by renewable energy sources and electric vehicle charging stations in the system. BESS are used in the system for frequency and voltage control, increasing power quality and reliability, and reducing peak load. In addition, BESS play a very important role in transition to islanded work.

BESS can be modeled electrically, chemically and statistically according to their application areas. Electrical models are essential for electrical engineers. Also electrical model should be selected according to the application. The selection of the appropriate model makes simulation easier.

In this study, BESS are used to reduce the losses and phase unbalance that may occur in the distribution system. Phase unbalance in distribution systems is that the amplitudes of the phases or the angle between the phases differ from 120^0. When phase unbalance increases in the system, machines and transformers can be damaged, power electronics circuit’s efficiency decrease, losses increase because of currents that flows through the neutral line, and protection devices can be activated incorrectly. Distribution companies must keep within the limits of the phase unbalance because of problems like these.

There are three types of phase unbalance which are voltage unbalance, current unbalance and power unbalance. Since the voltage unbalance is the most important of the phase unbalance, voltage unbalance is taken into consideration in this thesis. Voltage unbalance is defined differently in different standards. The most used voltage unbalance definition is defined by International Electrotechnical Commission (IEC).

In this thesis, IEC's voltage unbalance definiton is used for optimization. Genetic algorith (GA) and particular swarm optimization (PSO) methods are used for multi-objective optimization. In this thesis, the first objective function is minimize the voltage unbalance and the other one ise minimize the system losses. For doing multi-objective optimization, weighted sum method can be used. In the weighted sum method, a single-objective optimization problem is created by combining the objective functions. When creating a single-objective function, each objective function has a weight based on its importance. Different results are found when weights change in single-objective optimization.

Phase imbalance and losses are reduced by using load flows in optimizations. In simulations, operating condition of BESS are used as a variable. Moreover, it is observed that GA and PSO give the same results in most applications. The most important difference between them is that PSO finds the result more quickly.

Although three phase BESS can be used to reduce phase unbalance, phase based manageable BESS will be more effective to reduce phase unbalance. By managing the BESS in each phase separately, they can reduce the phase unbalance by working in charging position in phases where the load is low, and in discharge position where the load is high. Simulations is performed assuming that 3-phase BESSs can be managed as single-phase.

In this thesis, case studies can be divided into 3 groups. Since in the original system, the voltage imbalance is within the limits, the loads in case one are changed and an imbalance is created in the system. The second case is when all BESS owners leave their BESS under the control of distribution companies. In other words, the operating modes of all BESS used during optimization are used as variables. In second case, there are two applications. The first one is when three BESS are connected to the system and the second one is when four BESS are connected to the system. In these two cases, the total power of the BESS is adjusted to be approximately equal to each other. Moreover, the locations of BESS are determined according to their distance from the system feed. The last case study is when some BESS owners does not leave their BESS under the control of distribution companies. Due to the fact that, BESS owners think of their own interests. When these three case studies are compared, it is seen that losses and maximum phase imbalance in the system could be further reduced if all BESS participated in phase balancing. In addition to that in terms of preventing phase imbalance and reducing losses, having high-powered but few BESS is better for the system.

In distribution system, BESS should be used with the battery management system (BMS) in order not to operate in a way that increase phase unbalance. If they are not properly managed, BESS can increase the phase unbalance even if it is used for different applications. Therefore, BMS should be designed carefully.

In the first part of the thesis, the subject is introduced and the literature is summarized. In the second part, different models of BESS are given and their application areas are examined. In the next section, the phase unbalance types, which are the main subject

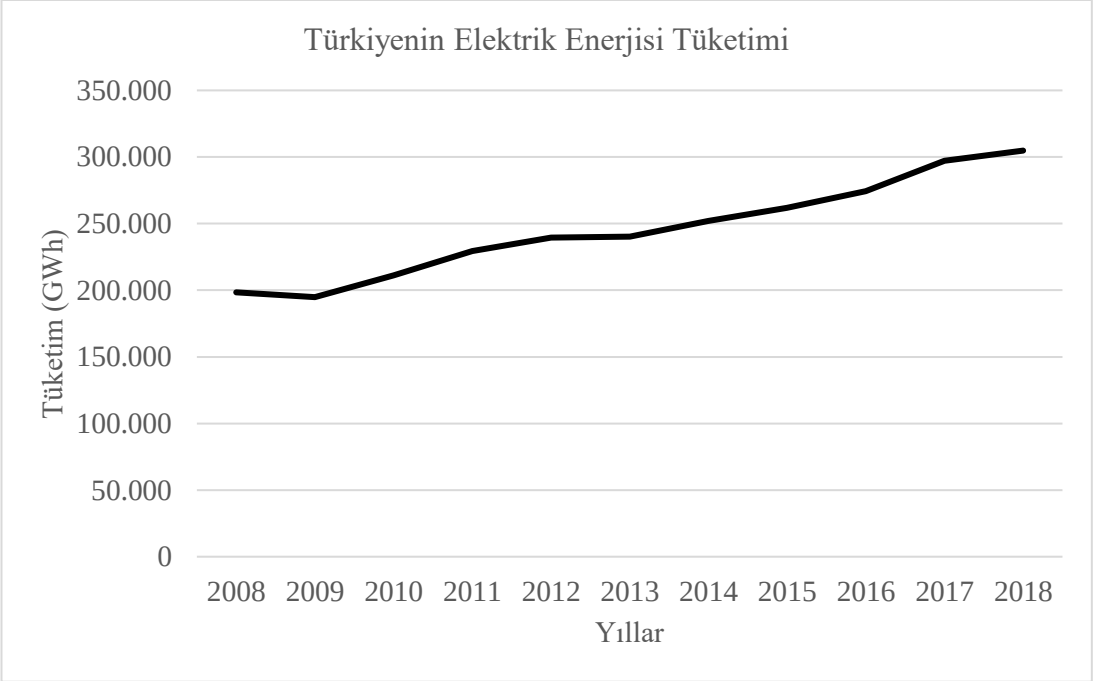
of the study, are given and the methods of preventing phase unbalance are explained by indicating the effects that they can create in the system.

In the fourth section, the methods and the optimization problem are explained in general. In addition, genetic algorithm and particle swarm optimization methods are explained in detail. In the next section, various case studies are explained in detail and the results are given with the help of tables and figures.

In the last section, after the study is summarized, general opinion about the results of the are explained in detail. Lastly, the future works are summarized.

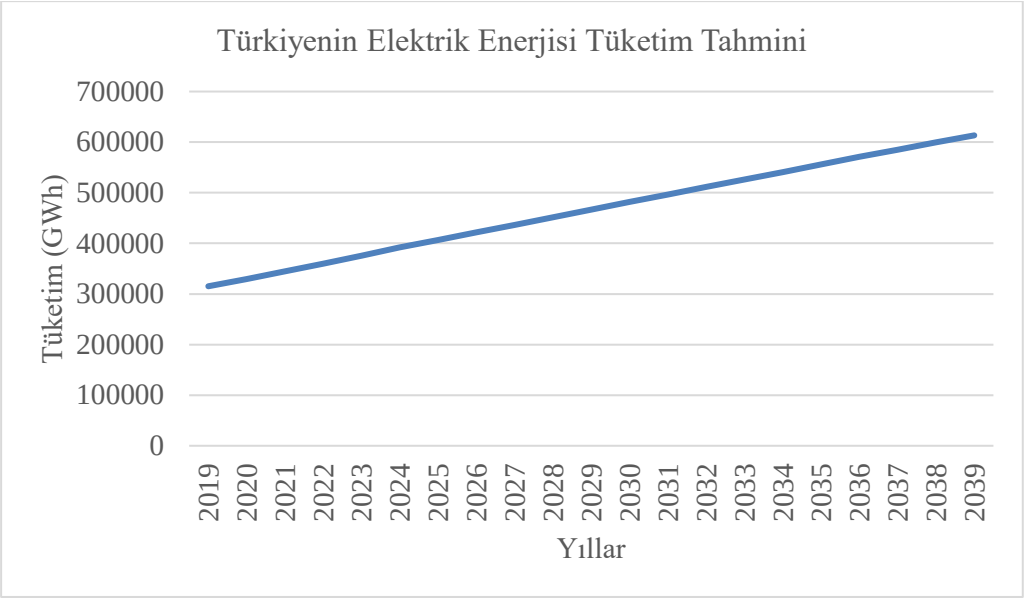
1. GİRİŞ

Teknolojinin gelişmesi ve nüfusun günden güne artmasıyla elektrik enerjisi tüketimi artmaktadır. Ulusal Enerji Ajansı'nın (IEA) verilerine göre dünyada elektrik enerjisi tüketimi son 10 yılda %30 oranında artmıştır [1]. Türkiye Elektrik İletim A.Ş'nin (TEİAŞ) verilerine göre Şekil 1.1'de son 10 yıldaki elektrik brüt talebi görülmektedir [2]. 2008'deki krizden dolayı talep o yıllarda azalsada diğer yıllarda sürekli bir artış görülmektedir. Bu grafiğe göre elektrik talebi Türkiye'de son 10 yılda yaklaşık %50 oranında artmıştır.



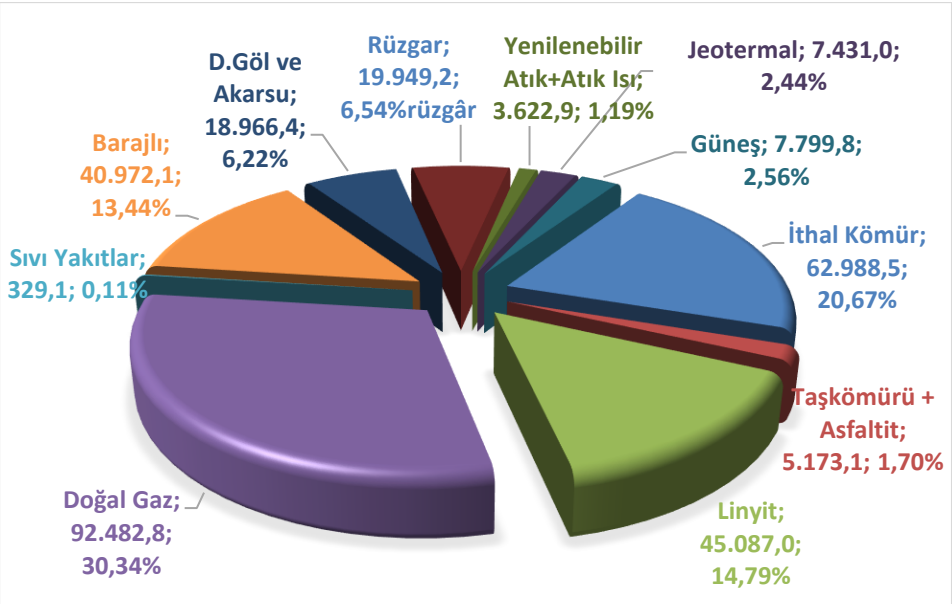
Şekil 1.1 : Türkiye'nin 10 yıllık elektrik tüketimi [2].

Elektrik üretim tesislerinin verimli bir şekilde planlanması için ülkeler elektrik tüketim artışlarını doğru bir şekilde tahmin etmeleri gerekir. Buna göre Şekil 1.2'de Enerji İşleri Genel Müdürlüğü'nün (EİGM) yayınladığı 20 yıllık talep tahmini verilmiştir [3]. Bu kaynak 2018'de alındığından tahmin yapılan ilk yıl 2019'u kapsamaktadır. Grafiğe göre geçmiş 10 yılda olduğu gibi gelecek 10 yılda da talep tarafında yaklaşık %50'lik bir artış beklenmektedir. Bu artışla beraber yapılan tahminlerde Türkiye'nin yıllık elektrik enerjisi talebi 2029 yılında yaklaşık 470000 GWh'lara çıkmaktadır.



Şekil 1.2 : Türkiye'nin 20 yıllık enerji tüketimi tahmini [3].

Dünyada elektrik enerjisi üretiminin büyük bir kısmı hala fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. Türkiye'de de Şekil 1.3'te görülebildiği gibi elektrik enerjisi üretiminde fosil yakıtlar önemli bir yer tutmaktadır [2]. 2018 yılında Türkiye'de üretilen elektrik enerjisinin yaklaşık %40'ı fosil yakıtlardan sağlanmıştır. Fosil yakıtlar yandığında havaya karbondioksit saldıklarından elektrik enerjisi üretiminde kullanıldıklarında çevreye zarar vermektedirler. Ayrıca atmosferde yüksek miktarda karbondioksit bulunması da küresel ısınmaya neden olmaktadır.



Şekil 1.3 : 2018 yılında Türkiye'de elektrik enerjisi üretiminin kaynaklara göre dağılımı [2].

Küresel ısınmayı ve çevreye verilen zararı azaltmak için Avrupa Komisyonu 2030 yılına kadar elektrik üretiminin %32'sini yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlamayı hedeflemektedir [4]. Şekil 1.3'te verilen grafiğe göre Avrupa Komisyonunun hedeflediği değerlere gelmek için sistemde kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarının sayısını arttırmamız gerekmektedir. Sistemdeki yenilenebilir enerji kaynaklarının hızlı bir şekilde artışı elektrik dağıtım sistem işletimini olumsuz etkileyebilmektedir. Özellikle rüzgâr ve güneş enerjisinin meteorolojik koşullara bağlı olarak enerji üretmeleri ve meteorolojik koşullardaki değişimin üretim miktarında öngörülemeyen değişimler yaratması nedeni ile sistem işletimi olumsuz etkilenebilmektedir. Ayrıca yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik dağıtım sisteminde artmasıyla ters güç akışı meydana gelebilir, gerilim ve frekans dalgalanmaları artabilir.

Sadece elektrik enerjisi üretmek için kullanılan fosil yakıtlar küresel ısınmaya sebep olmamaktadır. Küresel ısınmaya neden olan birçok etken vardır. Ulaşımda benzinli ve dizel araçların kullanımı küresel ısınmaya neden olan etkenlerin başında gelmektedir. IEA'nın verilerine göre 2017 yılında dünyada karbondioksit salınımının yaklaşık %25'ini benzinli ve dizel araçlar oluşturmaktadır [1]. Bu yüzden benzinli ve dizel araçlar yerine çevreye daha az zararlı olan hibrit, tam elektrikli ve hidrojenli araçlar için çalışmalar yapılmaktadır.

Elektrikli araçların (EA) kullanımı yaygınlaştıkça, elektrikli araç şarj istasyonlarının dağıtım sisteminde kullanımı da artacaktır. Elektrikli araç şarj istasyonları sistemde enerji verimliliğini, enerji kalitesini ve güvenilirliği olumsuz yönde etkiler [5]. Özellikle şarj istasyonlarının tek fazlı olması sebebiyle sistemdeki gerilim dengesizliği hiç olmadığı kadar önemli bir konu haline gelmektedir. Elektrikli şarj istasyonları sistemde arttıkça EA'ların sistemde faz dengesizliği yaratma olasılıkları artmaktadır. Bu yüzden EA'ların artmasıyla birlikte sistemde oluşabilecek faz dengesizliğine karşı önlemler almak gerekmektedir.

Elektrik sisteminde yenilenebilir enerji kaynakları ve elektrikli araç şarj istasyonlarının artmasıyla oluşabilecek olumsuz etkileri azaltmak için birçok çözüm yolu vardır. Bu çözüm yollarından biri olarak, enerji depolama sistemleri (EDS) yaygın bir biçimde kullanılmaktadır. Özellikle EDS çeşitlerinin nerelerde kullanılabileceğini, hangi avantajları veya dezavantajlarının olduğunu açıklayan birçok çalışma vardır [6].

EDS'ler enerji depolama türlerine göre mekaniksel, kimyasal, termal ve elektriksel olarak ayrılabilirler [7].

Mekaniksel olarak enerji depolayan EDS'lere pompaj depolamalı hidroelektrik santralleri, volanları ve basınçlı hava enerji depolama sistemleri örnek olarak verilebilir.

En popüler kimyasal enerji depolama yöntemi hidrojen enerji depolama yöntemidir. Petrol ürünlerinin yerini alabilecek potansiyele sahip olduğundan hidrojen enerji depolama yöntemiyle ilgili birçok çalışma yapılmaktadır.

Termal olarak enerji depolama yöntemlerini "duyulur ısı depolama", "gizli ısı depolama" ve "termokimyasal enerji depolama" olarak ayırmak mümkündür. Duyulur ısı depolama da ısı depolama faz değişimi olmadan maddenin sıcaklık değişimiyle olurken gizli ısı depolamada ise ısı depolama maddenin faz değişimi sırasında çevreden aldığı ısıyla olur [7].

Son dönemde elektriksel olarak enerji depolayan batarya sistemlerinin gelişmesi ile batarya enerji depolama sistemleri (BEDS) daha yaygın kullanılmaya başlanmıştır. Bataryalarda, depolanan kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürmek ve gerilim üretmek için kimyasal bir reaksiyon kullanılır. Birçok endüstriyel uygulama için en yaygın EDS haline gelmiştir. Günümüzde BEDS'lerin elektrik sisteminde ve elektrikli araçlarda kullanılan birçok çeşidi vardır [8]. Kurşun asit, nikel kadmiyum, Sodyum sülfür, Lityum iyon, Metal-air, Vanadyum redoks gibi batarya türleri elektrik dağıtım sisteminde kullanılmaktadır.

BEDS'ler yenilenebilir enerji kaynaklarının ve elektrikli şarj istasyonlarının getirdiği olumsuzlukları gidermenin yanında elektrik sisteminde birçok farklı alanda kullanılmaktadırlar. BEDS'ler talep tarafı yönetiminde konutlardaki enerji tüketimini azaltmak için de kullanılabilirler. ABD'deki konutlarda harcanan elektrik enerjisinin, toplam enerji tüketiminin %40'ından fazlasını oluşturduğu düşünüldüğünde BEDS'ler talep tarafı yönetimi için kullanıldıklarında çok avantaj sağlayabilmektedirler [9].

BEDS kullanımının enerji dağıtım sistemine farklı yararları da vardır. Bu yararlar arasında güç kalitesinin iyileştirilmesi, yük dengeleme ve puant talebi azaltma, yük öteleme, zaman kaydırma, frekans ve gerilim regülasyonu, gerilim sapmasının azaltılması, yedek üretim kapasitesinde iyileşme, hızlı sistem toparlanması, sera gazı salınımını azaltma vardır [6,10]. Yenilenebilir enerji kaynaklarının ve özellikle

elektrikli araç şarj istasyonlarının yaratabileceği faz dengesizliğini önlemek amacıyla da BEDS'ler kullanılabilirler. Faz dengesizliğini önlemek amacıyla BEDS'lerden faydalanırken birçok değişken ve denklem vardır. Bu yüzden BEDS'ler ile ilgili problemleri çözmek için son yıllarda elektrik sistemlerinde çeşitli eniyileme problemlerinin çözümünde de kullanılan arasında genetik algoritma (GA) ve parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO) gibi yöntemlerin de olduğu sezgisel algoritmalar kullanılabilir.

1.1 Tezin Amacı

BEDS'lerin 1 fazlı veya 3 fazlı küçük dağıtık üreticilerin ve tüketicilerin şebekede yarattığı olumsuzlukları gidererek sistemin iyileştirilmesi sağlanmıştır. Dağıtık üretimin ve elektrikli şarj istasyonlarının sistemde yarattığı faz dengesizliğini BEDS kullanarak GA ve PSO yardımıyla en aza indirilmesini sağlamak tezin ana konusudur. Ayrıca BEDS'lerin şebekedeki diğer olumlu etkilerinin incelenmesi de amaçlar arasındadır.

1.2 Literatür Araştırması

BEDS'lerin dağıtım sistemine birçok yararı vardır [10]. BEDS'lerin analizler sırasında kullanıldıkları yerlere göre modelleri değişebilmektedir. Literatürde birçok BEDS modeli bulunmaktadır [11]. Chan ve Sutanto yaptıkları çalışmada literatürde kullanılan BEDS modellerini özetlemişlerdir. Bir BEDS modelinin şarj durumuna göre BEDS'lerin lineer olmayan özelliklerinin en iyi şekilde modellenebileceği bulunmuştur. Bu modelle beraber BEDS'ler aktif filtre olarak kullanılmıştır [11].

BEDS'lerden maksimum yararlanabilmek için yerlerinin belirlenmesi ve boyutlandırılmasının çok iyi yapılması gerekmektedir. İyi belirlenmezler ise BEDS'ler güç kalitesini, güvenilirliği, gerilim ve frekans regülasyonunu, faz dengesizliğini olumsuz yönde etkileyebilirler. Bunun için farklı amaçlar doğrultusunda BEDS'lerin yerlerinin belirlenmesiyle ilgili birçok çalışma bulunmaktadır [12-14].

IEEE 30 baralık test sistemine rüzgâr enerjisi ekleyerek oluşturulan sistemde, gerilim profilinin iyileştirilmesi ve maliyetin minimize edilmesi amacıyla BEDS'lerin yerleri ve boyutları PSO yardımıyla bulunmuştur [12].

Bhaumik, Crommelin ve Zwart yaptıkları çalışmada EDS'lerin şebekedeki yerini sezgisel algoritmalara bağlı olarak bulmuşlardır. Ayrıca optimal güç akışları yapılarak EDS'lerin güçleri de belirlenmiştir [15].

Yenilenebilir enerji kaynağı olarak rüzgâr enerjisinin yerine güneş enerjisinin kullanıldığı çalışmalarda vardır [13,14]. Nick, Cherkaoui ve Paolone yaptıkları çalışmada BEDS'lerin şebeke içerisindeki yerlerini belirlerken yatırım maliyetleri ve gerilimin iyileştirilmesine ek olarak şebeke kayıplarına ve fider tıkanıklıklarına verdikleri etkileri de göz önünde bulundurmuşlardır [13].

Farrokhifar, Grillo ve Tironi yaptıkları çalışmada GA temelli bir yöntem kullanarak BEDS'lerin yerlerini sistemdeki enerji kayıplarını minimize edecek şekilde bulmuşlardır [16].

Celli ve arkadaşları yaptıkları çalışmada şebeke maliyetinin en aza indirgeyen optimal BEDS yerleşimi ve kontrol stratejisi tanımlayabilen bir yazılım planlama aracı önermiştir [17].

BEDS'lerin yerlerinin belirlenmesi kadar boyutlarının da belirlenmesi gerekmektedir [18,19]. Yang ve arkadaşları yaptıkları çalışmada güneş enerjisinin getirdiği sorunları ortadan kaldırmak, gerilimi regüle etmek ve puant talebi azaltmak için BEDS'lerin boyutlarını belirlemişlerdir. Önerilen yöntemde herhangi bir batarya boyutunda herhangi bir güneş enerjisi yoğunluğunda, bataryaların maliyet ve fayda analizi yapılabilmektedir [19].

Faz dengesizliğini önlemek için literatürde yapılan birçok farklı yöntem vardır. En çok kullanılan yöntemlerden biri ayırıcılar kullanılarak fider düzenlemesi yapmaktır. 1989'da ayırıcılar yardımıyla fider düzenlemesi yaparak kayıp azaltma ve faz dengeleme 2 farklı yük akışı yöntemi kullanılarak yapılmıştır [20]. Bu yıldan sonra ayırıcılar yardımıyla fider düzenlemesi yaparak faz dengesizliğini azaltma konusunda birçok yöntem geliştirilmiştir [21].

Fider düzenlemesi yerine yüklerin fazları değiştirilerek faz dengesizliği azaltılabilmektedir. Zhu, Chow ve Zhang yaptıkları çalışmada çok amaçlı optimizasyon problemi oluşturmuş ve bu problemin ağırlıklı toplam yöntemiyle çözümünü göstermişlerdir. Faz dengesizliğinin önlenmesiyle güç kalitesinin artacağı ve elektriğin maliyetinin azalacağı vurgulanmıştır [22].

BEDS'lerin elektrik dağıtım sistemindeki faz dengesizliğini azaltmak için kullanıldığı çalışmalar da vardır [23,24]. Helal ve arkadaşları IEEE 123 bara test sistemine faz dengesizliği yaratmak için tek fazlı güneş panelleri eklemişlerdir [23]. Çalışmada BEDS'ler 3 fazlı olarak sisteme eklenmiş olup, faz dengesizliği standartlarla belirlenmiş sınırlar içerisine indirilirken işletme maliyetleri de azaltılmaya çalışılmıştır.

Sun ve arkadaşlarının gerçekleştirdiği çalışmada ilk önce BEDS'ler ideal olarak kabul edilip hem merkezi hem de dağıtılmış gerçek zamanlı algoritmalar önerilmiştir. Daha sonra algoritma ilerletilip ideal olmayan BEDS'ler ile yapılmış ve açgözlü algoritma ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak önerilen algoritmanın açgözlü algoritmaya göre daha iyi sonuç verdiği görülmüştür [24].

2. BATARYA ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMLERİ

BEDS'ler elektrokimyasal olarak enerji depolayan cihazlardır. BEDS'ler az miktarda enerjiyi hemen elde edilebilecek şekilde depoladıklarından güç sistemleri için büyük önem taşırlar. BEDS'lerin elektrik dağıtım sistemine etkilerini gözlemleyebilmek için doğru bir şekilde modellemek gerekmektedir. Batarya modelinden yararlanılarak bataryanın performansı incelenebilir ve bataryanın durumu anlaşılabilir. Batarya parametreleri sabit olmayıp birçok nedene bağlı olarak değişebilmektedir. Ortam sıcaklığı, SoC (batarya şarj durumu) ve SoH (batarya sağlık durumu) batarya parametrelerini etkileyen en önemli etkenlerdir. Ölçülen batarya terminal gerilimi ve modelde bulunan batarya gerilimi arasındaki fark modelin ne kadar gerçeğe yakın olduğunu gösterir. Ayrıca bataryaların lineer olmayan karakteristiklerinden dolayı modellerin dinamik yanıtlarıyla gerçek batarya yanıtlarının benzerlik göstermesi gerekmektedir. Unutulmamalıdır ki ihtiyaca göre bazı varsayımlarla bataryaları basit şekilde modellemek uygulamada işimize yarayabilmektedir. Bu yüzden bataryaların kullanıldıkları yere göre modellenmeleri gerekmektedir.

Literatürde BEDS'lerin birçok modeli bulunmaktadır. BEDS'ler elektrokimyasal, istatiksel (matematiksel) ve elektriksel olarak modellenebilirler. Her modelin kendine has avantaj ve dezavantajları vardır [25].

Elektrokimyasal modeller en kapsamlı modellerdir. Bataryanın fiziksel özelliklerini optimize etmek için kullanılırlar ve fiziksel model olarak da adlandırılabilirler. Elektrokimyasal modelleri kurmak ve anlamak oldukça zor ve zaman alıcı olmasına rağmen bataryanın akım ve gerilim özelliklerinin yannda kimyasal özelliklerini de belirlemek için kullanılırlar.

İstatiksel modeller bataryaların gerçek ölçümlerinden alınan bilgilerle oluşturulurlar. BEDS'lerin çalışma süresi, verimliliği ve kapasitesi gibi davranışları tahmin etmek için ampirik denklemler veya stokastik yaklaşımlar gibi matematiksel yöntemler

kullanılırlar. İstatiksel modeller, optimizasyon algoritmalarında kullanmak için kritik olan BEDS'lerin akım-gerilim karakteristiği hakkında herhangi bir bilgi sunmazlar.

Elektriksel modellerde ise batarya, eşdeğer devre elemanlarıyla modellenir. Direnç, kapasitör ve gerilim kaynağı gibi elektriksel elemanlarla oluşturulan eşdeğer devreyle birlikte bataryanın istenilen özellikleri bulunabilir. Günümüzde bataryaların gerçek zamanlı olarak parametrelerinin bulunması gerekmektedir. Özellikle elektrikli araçlarda kullanılacak batarya sistemlerinin, araç hareket halindeyken batarya parametrelerinin doğru bir şekilde hesaplanması kullanıcılar için çok önemlidir. Bu hesaplamaları yapmak için uyarlanabilir modellerin kullanılması gerekmektedir.

2.1 Elektriksel Batarya Modelleri

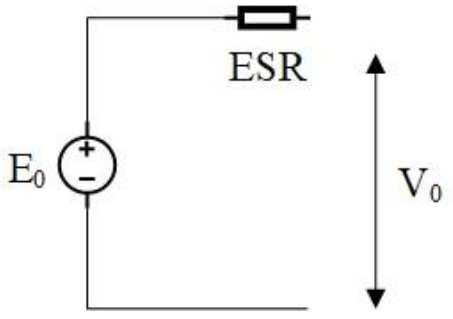
Elektrokimyasal ve istatiksel modellerin aksine elektriksel modeller, elektrik mühendislerinin bataryaları modellemelerde daha kolay kullanabilmesi için gereklidir. Bu yüzden elektriksel modelleri detaylı bir şekilde inceleyecek olursak literatürde birçok elektriksel batarya modeli bulmak mümkündür.

2.1.1 Basit Batarya Modeli

En çok kullanılan ve anlaşılması en kolay batarya modelidir [11]. Şekil 2.1'de görülen ESR bataryanın iç direncidir ve değişmediği varsayılmıştır. V_0 batarya uç gerilimi (bataryanın uçlarında ölçülen gerilim) ve E_0 ise bataryanın açık devre gerilimidir. Denklem 2.1 kullanılarak E_0'ı bulmak mümkündür. Bu denkleme göre batarya uç gerilimiyle ESR üzerindeki gerilim düşümünün toplamı bataryanın açık devre gerilimini vermektedir.

$$V_0 = E_0 - ESR * I \tag{2.1}$$

Denklem 2.1'de gösterilen I ise bataryadan geçen akımıdır.



Şekil 2.1 : Basit batarya modeli eşdeğer devresi.

Bu model, SoC değerinin önemli olmadığı ve bataryadan çekilen enerjinin sonsuz olduğu bazı devre simülasyonları için kullanılabilir. Daha önce bahsettiğimiz üzere EA'larda daha detaylı modeller kullanılması gerekmektedir.

2.1.2 Modifiye batarya modeli

Bu modelde basit modelin aksine değişen bir iç direnç düşünülmüştür. Bunun nedeni bataryanın şarj durumuna göre iç direncinin farklılık göstermesidir. Bu değişimi sağlamak amacıyla üreticilerin verdiği deşarj karakteristiklerine göre bir iç direnç tasarlanmıştır [26].

$$\mathrm{ESR} = \frac{R_0}{S^k} \tag{2.2}$$

Burada R_0 batarya tamamen doluyken ölçülen iç direnç, S ise bataryanın SoC değerini gösterir ve k üreticiler tarafından belirlenen deşarj karakteristiklerine göre bulunan bir katsayıdır. S denklem 2.3'e göre bulunabilir.

$$\mathrm{S} = 1 - \frac{\sum A_h}{\mathrm{C}_{10}} \tag{2.3}$$

A_h bataryanın toplam SoC değerini ve C_{10} ise bataryanın referans sıcaklıkta 10 saatlik kapasitesini belirtir.

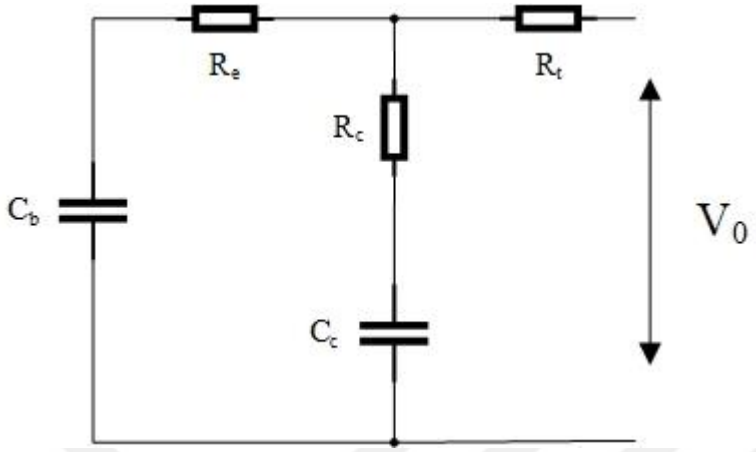
Bu model aslında kesintisiz güç kaynaklarında kullanılan bir batarya hücresinin performansını modeller. Bu batarya hücrelerinin seri veya paralel bağlanmasıyla bütün bir kesintisiz güç küynağı bataryası modellenebilmektedir.

2.1.3 Direnç-Kapasite (RC) batarya modeli

Bu modelde 3 tane direnç ve 2 tane kapasite bulunmaktadır [27]. Şekil 2.2'de bulunan C_b kapasitesinin kapasitans değeri oldukça büyüktür ve bataryanın kimyasal olarak yük depolayabilme kapasitesini temsil eder (bulk capacitor denmektedir). C_c ise küçük bir kapasitans değerine sahiptir ve bataryanın yayılım etkisini temsil eder. R_e uç direnci, R_t terminal direnci ve R_c ise kapasitör direnci olarak adlandırılmaktadır. Devredeki dirençler sıcaklığa bağlı olarak değişirken, kapasite değerleri hem sıcaklık hem de SoC'a göre değişmektedir.

Bataryalar lineer olmayan bir karakteristiğe sahip olduklarından bataryaların dinamik yanıtlarını doğru bir şekilde modelleyebilmek çok önemlidir. Birkaç döngüden sonra

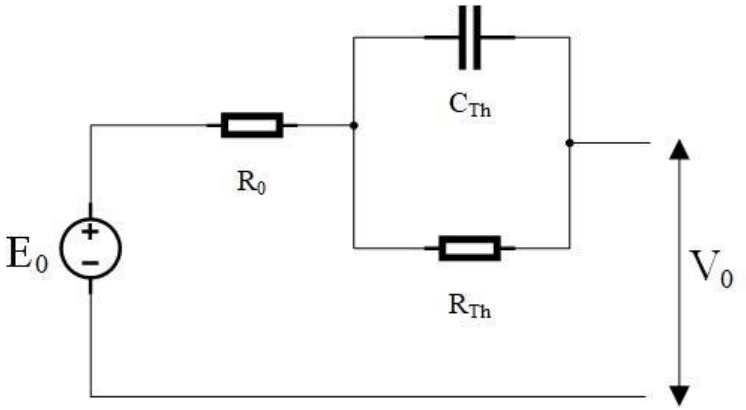
RC modeli bataryanın dinamik cevaplarını ve SoC değerini basit ve modifiye batarya modellerine göre daha doğru bir şekilde tahmin edebilmektedir. Bu yüzden bu model EA'larda kullanılabilmektedir.



Şekil 2.2 : RC batarya modeli eşdeğer devresi.

2.1.4 Thevenin batarya modeli

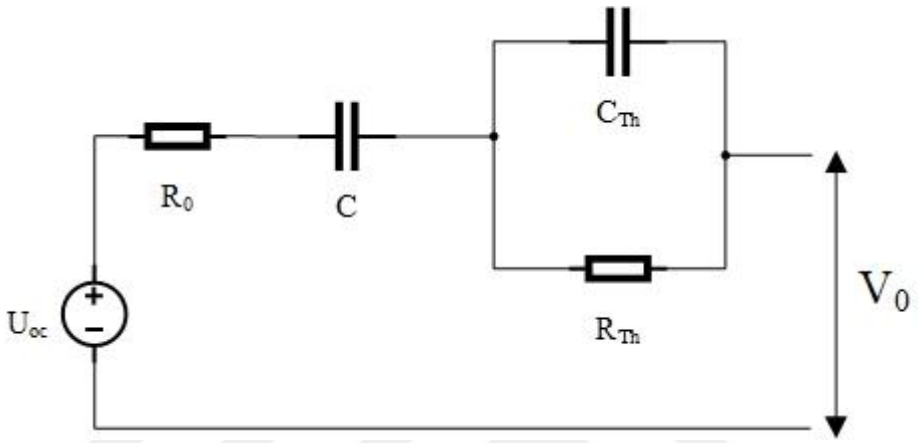
Thevenin batarya modeli yaygın olarak kullanılan diğer bir batarya modelidir. Gerilim kaynağı, iç dirençler ve eşdeğer kapasiteler dahil olmak üzere üç bölümden oluşur. İç dirençler arasında omik direnç R_0 ve polarizasyon direnci R_{Th} bulunur. Eşdeğer kapasitans C_{Th} ve R_{Th} belirli bir şarj durumunda yüklerde meydana gelen geçici olaylar sırasında açık devre geriliminin sabit olduğunu varsayarak bataryanın tepkisini belirlemek için kullanılırlar [28]. Şekil 2.3'te görülen devrede kullanılan RC'lerden devreye seri olarak ekleyerek sayılarını arttımak mümkündür. RC sayısının artmasıyla uç geriliminin dinamikleri daha iyi görülebilmektedir fakat RC sayısının artması hesaplama karmaşıklığına neden olmaktadır. Thevenin batarya modeline ek elemanlar ekleyerek batarya çalışma zamanını (runtime) tahmin etmeye yarayan modeller de vardır [29].



Şekil 2.3 : Thevenin tabanlı batarya modeli eşdeğer devresi.

2.1.5 PNGV batarya modeli

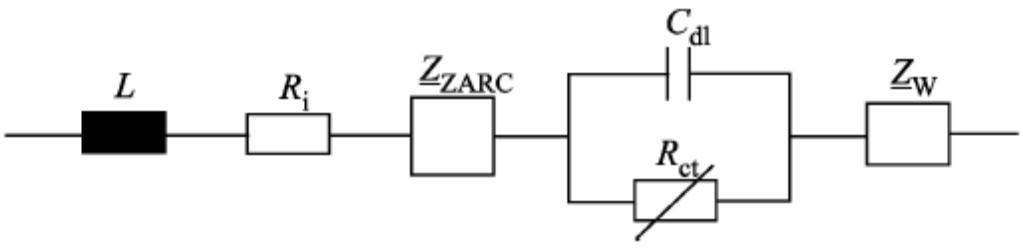
Şekil 2.4'te görüldüğü üzere PNGV modelini, Thevenin batarya modeline bir kapasite "C" ekleyerek elde etmek mümkündür [30]. Bu kapasite, yük akımının biriktiği zamandaki açık devre geriliminin değişimini tanımlamak için kullanılır. Bu model Amerika'da kurulan yeni nesil araçlar için ortaklığın (Partnership for a New Generation of Vehicles-PNGV) elektrikli araçlarda kullanılmak için hazırladığı bir batarya modelidir.



Şekil 2.4 : PNGV batarya modeli eşdeğer devresi.

2.1.6 Empedans tabanlı batarya modeli

Şekil 2.5'te empedans tabanlı batarya modelinin elektriksel eşdeğer devresi vardır. Empedans tabanlı modeller, frekans alanında bir ac-eşdeğer empedans modeli elde etmek için elektrokimyasal empedans spektroskopisi yöntemini kullanırlar. Modelin empedans spektrumlarına uyması için Şekil 2.5'te görülen karmaşık bir eşdeğer ağ (Z_{ZARC}) kullanılır [31]. Bu işlem karmaşık ve zordur. Ayrıca empedans modeli yalnızca sabit bir SoC değeri ve sıcaklık ayarı için çalışır ve bu nedenle dc yanıtı ve batarya çalışma süresini tahmin edemez. Elektrokimyasal empedans spektroskopi yöntemi elektrokimyasal araştırmalarda en karmaşık tekniklerden biridir. Bu yüzden bu modelin kullanılması için gerekli alt yapının hazırlanması gerekmektedir.



Şekil 2.5 : Empedans tabanlı batarya modeli eşdeğer devresi [31].

2.2 BEDS Uygulamaları

BEDS'lerin elektrik dağıtım sisteminde birçok uygulama alanı vardır [32]. BEDS'ler sistemde hangi amaçla kullanılacaklarsa o amaca yönelik çok iyi tasarlanmaları ve ayrıca BEDS'ler kullanılırken sistemde farklı olumsuzluklar oluşturulmadığından emin olmak gerekmektedir.

2.2.1 Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Sisteme Entegrasyonu

BEDS'lerin en önemli uygulaması yenilenebilir enerji kaynaklarına olan desteğidir [33]. Yenilenebilir enerji kaynaklarının sistemde artmasıyla BEDS'lere olan ihtiyaç da artmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları özellikle rüzgâr ve güneş enerjisi oldukça öngörülemez kaynaklardır. BEDS'lerin kullanımı ile üretimin dalgalılığı azaltılarak, üretilen enerjinin güvenilirliği arttırılmaktadır. Ayrıca enerjinin daha yüksek fiyatlı olduğu zamanlarda satılabilmesini sağlayarak üreticilere fazladan kâr sağlamaktadır.

BEDS'ler bina ve konutlarda güneş enerjisiyle birlikte kullanılarak tüketicilerin yerel olarak enerji üretip-tüketmesine yardımcı olurlar. BEDS'ler akşam saatlerinde ve güneşin yeterli gelmediği zamanlarda devreye girerek tüketicilerin enerjisiz kalmamasını sağlarlar. Böylelikle BEDS'ler hem tüketicilere hem de üreticilere çeşitli yararlar sağlamış olurlar.

2.2.2 Frekans Kontrolü

Yüksek güçlü enerji depolama teknolojilerinin kullanımı ile ilgili çalışmalar, batarya gibi kısa süreli depolama teknolojilerinin frekans kontrolü, özellikle de primer kontrol için kullanılabileceğini göstermiştir [34]. Primer kontroller frekans dalgalanmaları sırasında birkaç saniye içerisinde devreye girerek frekansı ayarlarlar. BEDS'lerin diğer EDS'lere göre daha hızlı ve hassas yanıt vermeleri sebebiyle BEDS'ler primer frekans kontrölü sırasında kullanılmaktadır. Burada önemli olan primer frekans kontrolü yaparken BEDS'nin optimum şarj-deşarj karakteristiğini bularak BEDS'nin ömrünü uzatmaktır [35]. Dünyada BEDS'lerin frekans kontrolü için kullanıldıkları bilinmektedir. Örneğin 2011 yılında Şili'de 20 MW'lık bir BEDS frekans kontrolü için kurulmuştur [36].

2.2.3 Gerilim Kontrolü

Sisteme reaktif güç basarak yada sistemden reaktif güç talep ederek sistemin gerilimini uygun sınırlar içine çekmeye gerilim kontrolü denir. Uygun güç elektroniği sistemleriyle beraber BEDS'ler reaktif güç kaynağı olarak kullanılabilirler. Güç elektroniği devreleri sayesinde BEDS'ler reaktif güç kaynağı olarak kullanılırken depolanan aktif güce çok az bir etki yaparlar. Ayrıca frekans kontrolünde olduğu gibi BEDS'ler çok hızlı bir şekilde devreye girme özelliğinden dolayı gerilim kontrolünde de kullanılırlar [34].

Örneğin rüzgâr santrallerinde üretilen elektrik enerjisi elektrik sistemindeki gerilimi olumsuz etkileyebilir fakat rüzgar santralleri BEDS'lerle birlikte kullanıldıkları zaman gerilimi düzenlemekle kalmayıp enerji kaybını da azaltmaktadırlar [37].

2.2.4 Güvenilirlik

Elektrik güç sistemleri günden güne daha çok insana hizmet vermektedir. Bu artışla beraber son kullanıcıların elektriğe kesintisiz bir şekilde ulaşması daha da önemli bir konu haline gelmiştir. BEDS'ler elektriğin kesintisiz bir şekilde ulaştırılabilmesi yani sistemin güvenilirliğini arttırmak için kullanılabilirler. Sistemde bir arızadan sonra generatörler devreden çıkarsa, BEDS'ler generatörler devreye girene kadar sistemin dengesini koruyabilmektedirler. 2003 yılında Alaska'da kurulan 46 MW'lık Ni-Cd (Nikel-Kadminyum) bataryalar sistemin güvenilirliğini arttırmak amacıyla kurulmuştur [36].

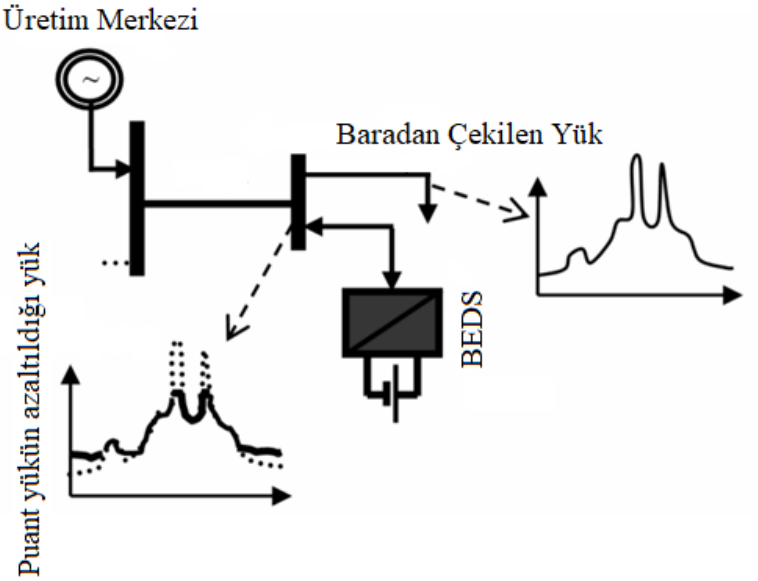
2.2.5 Güç Kalitesi

Örneğin gıda işleme şirketleri, yarıiletken üreticileri gibi birçok sektörde güç kalitesi çok önemli bir konudur. Ekipmanlar gerilimde meydana gelebilecek dalgalanmalardan çok fazla etkilenmektedirler. BEDS'ler yardımıyla gerilim düzeltilerek güç kalitesi arttırılabilmektedir [38]. Buna göre BEDS'ler için genel olarak güç kalitesini artırıyor diyebiliriz. Frekans ve gerilim kontrolü yaparak, sistemin güvenilirliğini arttırarak güç kalitesini de arttırmaktadırlar.

Ayrıca BEDS'ler doğal afetler veya terörist eylemleri sırasında iyi bir acil durum güç kaynağı olarak kullanılabilirler. Bu sayede son kullanıcılar kesintilerden daha az etkileneceklerdir.

2.2.6 Puant Yükü Azaltma

Puant yükü azaltma, sistemde en yüksek talebin olduğu zamanda bir veya birden fazla yükün talebini azaltmaktır. Puant yükün azalmasıyla elektriğin birim maliyeti de azalmaktadır. Sadece puant yükte çalışan santrallerin sayısındaki azalma, trafoların kapasitelerinin yükseltilmesinin ertelenmesi gibi etkenler elektriğin birim fiyatını düşürmektedir [32]. BEDS'lerin bakım maliyetleri düşünüldüğünde puant yükü azaltmak için kullanılmaları efektif bir çözüm olmaktadır [39]. Şekil 2.6'da görüldüğü gibi BEDS'ler puant yük zamanında deşarj olup, diğer zamanlarda şarj olarak sistemdeki günlük yük eğrisini düzeltirler. Önceden dizel generatörler ve gaz türbinleri ile yapılan puant yükü azaltma şimdilerde BEDS'ler ile yapılmaktadır. Örneğin 2006 yılında Amerika'nın Kansas eyaletinde 1 MW'lık bir BEDS puant yükün azaltılması için kurulmuştur [36].



Şekil 2.6 : BEDS'ler ile puant yükü azaltma [39].

2.2.7 Döner Rezerv

Döner rezerv ek yük talebini karşılamak için yedekte bulunan generatör kapasitesidir. BEDS sistemleri diğer döner rezervler gibi dönme işlemi yapmasalarda aynı işlemi gördüklerinden aynı isimle adlandırılmaktadırlar. BEDS'ler hızlı devreye girip çıktıklarından döner rezerv olarak kullanılmaya çok müsait sistemlerdir. Ani bir yük artışında generatörlerin yeterli kapasitesi olmadığında BEDS'ler deşarj olarak sisteme gerekli olan enerjiyi sağlayabilmektedirler. Daha sonra yük azaldığında BEDS'ler şarj

olarak tekrar kullanılmak için hazır olurlar. Dünyada BEDS'lerin döner rezerv olarak kullanıldığı birçok yer mevcuttur. Örneğin frekans kontrolü için kullanıldığı belirtilen Şili'deki 20MW'lık BEDS aynı zamanda döner rezerv olarak da kullanılmaktadır [36]. Buradan anlaşılacağı üzere tek bir BEDS doğru tasarlandığında birçok alanda kullanılabilmektedir.

2.2.8 Ada Çalışma

BEDS'ler yenilenebilir enerji kaynaklarıyla beraber kullanıldıklarında sistem, ada konumuna geçebilmektedir. BEDS'ler yukarıda da bahsedildiği gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının getirdiği olumsuzlukları gidererek sistemin ada konumunda çalışabilmesini sağlamaktadırlar. BEDS'ler sistemin güvenilirliğini ve güç kalitesini arttırarak ada konumunda da tüketicilerin elektriğe kesintisiz bir şekilde ulaşmalarında büyük bir rol oynarlar.

2.2.9 Ulaşım Sistemleri

Ulaşım sistemlerinde genel olarak sistemin verimliliğini arttırıp sistemin maliyetini, ağırlığını ve hacmini mimimumda tutabilecek BEDS'ler kullanılır. Ayrıca ulaşım sistemlerinde kullanılan BEDS'lerin uzun deşarj sürelerine sahip olmaları gerekir [34]. BEDS'ler elektrikli araçlarda kullanıldığı gibi trenlerde ve metrolarda da sistem verimini arttırmak için kullanılmaktadırlar [40]. Metrolar rejeneratif frenleme esnasında sisteme tekrardan enerji sağlarlar. Eğer bu enerji başka bir araç tarafından kullanılamazsa frenleme direnci enerjiyi dağıtmak için kullanılır. Frenleme direnciyle geri kazanılacak enerjinin tamamı kullanılamaz. BEDS'ler bu gibi durumlarda sistemin verimliliğini arttırmak için kullanılmaktadırlar.

EA'larda kullanılan BEDS'lerin ömrü, gücü, enerjisi, maliyeti ve güvenirliği çok önemlidir [41]. BEDS'lerin başlangıç özelliklerinin iyi olması EA'larda kullanılmaları için yeterli değildir. BEDS'lerin kullanılırken iyi bir şekilde izlenmesi, yönetilmesi ve korunması gerekmektedir. BEDS'lerin batarya yönetim sistemiyle (BYS) birlikte maksimum sistem performansları ve ömürleri artmakta, güç tüketimleri ise azalmaktadır.

BEDS'ler verilen amaçlardan farklı olarak dengesiz yüklenmiş sistemlerde faz dengesizliğini azaltmak içinde kullanılabilmektedir [23]. Faz dengesizliğini azaltmak

için kullanılan BEDS'ler BYS'ler ile kordineli bir şekilde çalışmazlarsa faz dengesizliğini arttırıcı yönde etki edebilirler.

3. GÜÇ SİSTEMLERİNDE DENGESİZ ÇALIŞMA VE ETKİLERİ

Dağıtım sistemlerinde faz dengesizliği, fazların genliklerinin veya fazlar arasındaki açının 120^0'den farklı olmasıdır. Şekil 3.1'de dengeli ve dengesiz sistemler için fazör diyagramları gösterilmiştir. Normal şartlar altında hat gerilimleri, generatörlerin çıkış gerilimlerine, hat empedanslarına ve dağıtım şebekesindeki yüklere bağlıdır. Dağıtım şirketlerinin amaçlarından biri de tüketicilere dengeli bir gerilim sağlamaktır. Generatörlerin çıkış gerilimleri dengeli olduğundan, tüketicilere dengeli gerilim sağlamak için hat empedanslarını ve yükleri fazlara eşit olarak dağıtmak yeterlidir. Havai hatlarda fazların yeryüzüne olan uzaklıklarının eşit olmamasından dolayı hatların empedansları eşit değildir. Ayrıca fazların uzunluklarının eşit olmaması da dengesizliği arttırmaktadır.

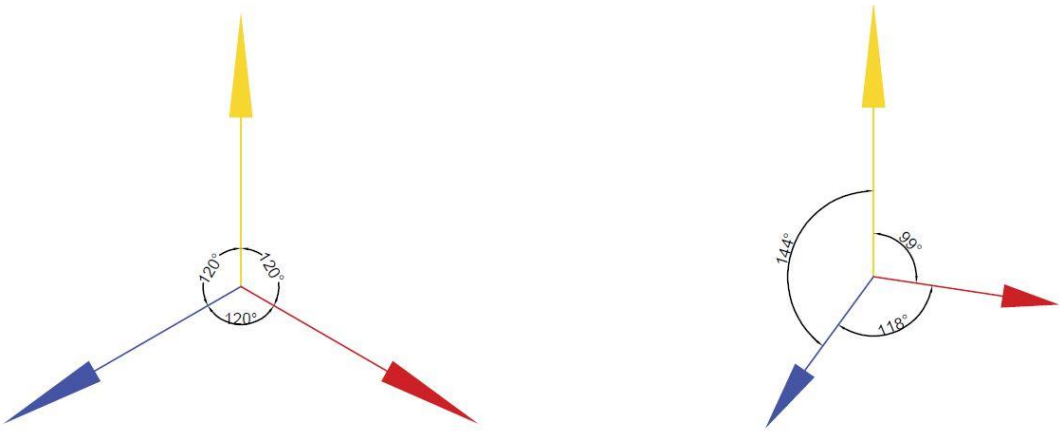
Faz dengesizliğinin en önemli nedeni üç fazlı alçak gerilim sisteminde kullanılan yüklerin tek fazlı olması ve yüklerin eşit olarak dağıtılamamasıdır. Köylere giden uzun dağıtım hatları, şehirlerdeki tek fazlı aydınlatma yükleri, iyi tasarlanmamış demiryolu sistemleri, dağıtık üretimin artması, elektrikli araç şarj istasyonlarının sistemde artması gibi birçok neden yüklerin eşit olarak dağıtılamamasına ve dağıtım sisteminde faz dengesizliği yaratmaktadır [42].

Faz dengesizliğini ölçebilmek için çoğunlukla simetrili bileşenlerden faydalanılır. Simetrili bileşenler 3 fazın birbirinden farklı olduğu dengesiz sistemlerin çözümlerini bulmak için 1918 yılında bulunan bir yöntemdir [43]. Faz gerilimlerini simetrili bileşenler ile ifade etmek için denklem 3.1'den yararlanılabilir.

$$\begin{bmatrix} V_0 \\ V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \times \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \tag{3.1}$$

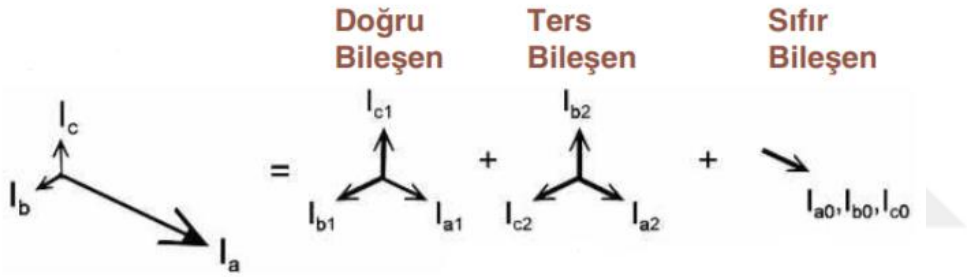
Denklem 3.1'de görülen V_0 sıfır bileşeni, V_1 doğru (pozitif) bileşeni ve V_2 ters (negatif) bileşini ifade eder. V_a, V_b ve V_c ise faz gerilimleridir. "a" vektörü ise 120^0 öteleme için kullanılır ve denklem 3.2'deki gibi tanımlanmaktadır.

$$a = e^{j120^0} \tag{3.2}$$



Şekil 3.1 : a: 3 fazlı dengeli sistem b: 3 fazlı dengesiz sistem.

Denklem 3.1'e göre her faz kendisini oluşturan 3 farklı bileşene ayrılabilir. Şekil 3.2'de bileşenlerin nasıl ayrıldığını görmek mümkündür.



Şekil 3.2 : Simetrili bileşenler [44].

3.1 Dengesizlik Çeşitleri

Faz dengesizliğini üçe ayırmak mümkündür.

3.1.1 Gerilim Dengesizliği

Gerilim dengesizliği, dengesizlik çeşitleri içinde en önemli olanıdır. Literatür ve standartlarda genellikle gerilim dengesizliğine ilişkin bilgiler bulunmaktadır. Gerilim dengesizliğini bulmak için birçok kuruluş farklı formüllerden, farklı yöntemlerden yararlanmaktadır.

3.1.1.1 NEMA

Ulusal Elektrik Üreticileri Birliği (NEMA) tarafından oluşturulan standartta gerilim dengesizliğini yüzde olarak denklem 3.1'deki gibi tanımlamıştır [45].

$$\%\text{NEMA} = \frac{\text{Max}(|\text{VLL}-\text{Vort}|)}{\text{Vort}} \times 100 \tag{3.1}$$

Denklem 3.1'de V_{LL} faz arası gerilimdir. V_{ort} ise faz arası gerilimlerin ortalamasıdır ve denklem 3.2'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$\text{Vort} = \frac{\text{Va}+\text{Vb}+\text{Vc}}{3} \tag{3.2}$$

Denklem 3.1'e örnek vermek gerekirse, faz arası gerilimlerin 460 V, 467 V ve 450 V olduğu bir sistemi ele alırsak ortalama gerilim 459 V olarak hesaplanabilir. Maksimum sapma 450 V olan fazda 9 V olarak hesaplanabilir. Daha sonra gerilim dengesizliği 100 * (9 / 459) işlemi yapılarak %1.96 olarak bulunur.

NEMA standartlarında motorların çıkışlarında gerilim dengesizliğinin limiti %1 olarak verilmiştir.

3.1.1.2 PVUR

IEEE faz dengesizliğini, faz gerilimleri dengesizliği oranı (PVUR) olarak vermektedir. IEEE, NEMA ile aynı gerilim dengesizliği tanımını kullanır. Aralarındaki fark ise NEMA'nın tanımında faz arası gerilimler kullanılırken IEEE'nın tanımında faz gerilimleri kullanılmaktadır. Denklem 3.3'te PVUR'un formülü verilmiştir.

$$\%\text{PVUR} = \frac{\text{Max}(|\text{VLN}-\text{Vort}|)}{\text{Vort}} \times 100 \tag{3.3}$$

3.1.1.3 VUF

Uluslararası Elektroteknik Komisyonunun (IEC) literatürde gerçek tanım ya da yüzde gerilim dengesizliği faktörü (%VUF) olarak ortaya attığı gerilim dengesizliği ise denklem 3.4'te verildiği şekilde hesaplanabilir.

$$\%\text{VUF} = \frac{\text{V2}}{\text{V1}} \times 100 \tag{3.4}$$

Denklem 3.4'te daha önceden de anlatıldığı üzere V_2 gerilimin negatif bileşenini ve V_1 ise gerilimin pozitif bileşenini ifade eder. Avrupa standartlarında, %VUF değerinin 10 dakikalık ölçümlerinde orta ve alçak gerilim için limiti %2 ve yüksek gerilim için %1 olarak verilmiştir [46].

Elektrik piyasasında dağıtım sisteminde sunulan elektrik enerjisinin tedarik sürekliliği, ticari ve teknik kalitesi hakkında yönetmeliğinin 22. maddesinde "Gerilim negatif bileşeni etkin değerlerinin 10'ar dakikalık ortalamalarının en az %95'inin pozitif bileşenlere oranı en fazla % 2 olmalıdır." ibaresi yer almaktadır. Bu maddeye göre %VUF değeri sınırlandırılmıştır [47].

3.1.2 Akım Dengesizliği

Akım dengesizliği gerilim dengesizliği gibi sistemde fazlardaki akımların aynı olmamasından kaynaklanır ve denklem 3.5'te görüldüğü gibi hesaplanabilmektedir.

$$\%I = \frac{I2}{I1} \times 100 \tag{3.5}$$

Denklem 3.5'te %I yüzde akım dengesizliğini, I_2 akımın negatif bileşenini ve I_1 ise akımın pozitif bileşenin gösterir. Ayrıca akım dengesizliği gerilim dengesizliği gibi ortalamaya göre sapmasıyla da bulunabilmektedir.

Sistemde faz iletkenlerinin ve bağlantı elemanlarının farklı empedanslarda olması durumunda, akım dengesizliği ile gerilim dengesizliği arasında aynı oranda bir ilişki olmayabilir. Bu yüzden düşünülenin aksine akım dengesizliğinin olması gerilim dengesizliğinin de olduğu anlamına gelmez. Gerilim dengesizliğinin aksine standartlarda akım dengesizliğinin sınırları belirlenmemiştir.

3.1.3 Güç Dengesizliği

Gerilim ve akım dengesizliği sistemde güç dengesizliğine neden olmaktadır. Güç dengesizliği akım ve gerilim dengesizliği gibi hem ortalama güç hem de gücün negatif ve pozitif bileşenleriyle hesaplanabilir. Akım dengesizliği gibi güç dengesizliğinin de standartlarda bir sınırlaması yoktur [48].

3.2 Dengesiz Çalışmanın Etkileri

Faz dengesizliği elektrik dağıtım sistemlerinde önemli bir konu olan güç kalitesi problemlerinden biridir. Dengesiz çalışmanın dağıtım sistemine birçok olumsuzlukları vardır [42].

- Faz dengesizliği makinelerin ve transformatörlerin aşırı ısınmasına neden olarak verimlerini azaltır. Ayrıca elemanların aşırı ısınması ömürlerini

azaltabilmektedir. Faz dengesizliğinden kaynaklanan negatif bileşen akımları motorlarda ek arızalara neden olabilmektedir.

- Akım dengesizliğinden dolayı nötr hattından akan akımla beraber elektrik dağıtım sisteminde kayıplar artmaktadır. Aynı zamanda dengesizlikle beraber fazlarda meydana gelen bakır kayıpları da artmaktadır.
- Faz dengesizliği güç elektroniği devrelerinin harmonikli akım üretmesine neden olmakla beraber güç elektroniği devrelerinin verimini de azaltmaktadır.
- Faz dengesizliği yüzünden kısa devre olmayan hatlarda kısa devre varmış gibi koruma cihazları devreye girebilmektedir.

3.3 Dengesizliği Önleme Yöntemleri

Faz dengesizliğini önlemek için çoğunlukla ayırıcılar (sectionalizing switches) kullanılarak dağıtım sisteminde fider düzenlemesine (Network reconfiguration) dayalı çalışmalar vardır. Faz dengesizliğinin en önemli nedenlerinden biri yüklerin fazlara eşit olarak dağıtılamamasıdır. Dağıtım sisteminin yapısı değiştirilerek yüklerin fazlara eşit dağıtılması sağlanabilmektedir. Yüklerin eşit olarak dağıtılmasıyla yük akımları dengeli olmakta ve dengesizlik azalmaktadır [49]. Fider düzenlemesine dayalı birçok yöntem geliştirilmiş ve farklı birçok optimizasyon yöntemlerine başvurulmuştur [21]. Genelde optimizasyonlar yük dengesizliğini azaltmak ve güç kaybını önlemek için yapılmıştır. Bu yöntemlerde en çok denklem 3.6'da verilen yük dengesizliği indeksi kullanılmıştır.

$$\mathrm{LDi} = \frac{\mathrm{S_i}}{\mathrm{S_i^{maks}}} \tag{3.6}$$

Denklem 3.6'da verilen LD_i i. baraya ait yük dengesizliği indeksi, S_i i. baradan çekilen görünür güç, S_i^{max} ise i. baradan çekilebilecek maksimum görünür gücü ifade eder. Yük dengesizliği indeksi daha önce anlatılan gerilim dengesizliği ve akım dengesizliği gibi terimlerden farklı görünsede, sistemdeki yük dengesizliği indeksleri birbirlerine ne kadar yakın olursa faz dengesizliği de o kadar azalmaktadır.

Dengesizliği azaltmak için yapılan bir başka yöntem ise faz değişikliğidir. Tek fazlı veya üç fazlı yüklerin olduğu bir sistemde yüklerin fazları değiştirilerek dengesizlik azaltılır. Bakım masrafları ve planlanan kesinti sürelerini hesaba katarak faz değişikliği işleminin yapılması gerekmektedir [22].

Faz değişikliği ve fider düzenlenmesi gibi yaklaşımlar faz dengesizliğini önlemek için etkisiz olabilmektedir. Ayrıca insan kaynakları, bakım giderleri ve planlanan kesinti süreleri için ek maliyetlere neden olabilmektedir [24]. Bu yüzden faz dengesizliğini sağlamak için farklı yöntemlerin geliştirilmesi gerekmektedir. BEDS'ler kullanılarak da faz dengesizliğinin azaltıldığı çalışmalar vardır.

3.4 BEDS'ler ile Dengesizliğin Önlenmesi

3 fazlı BEDS sistemlerinin kullanılmasıyla sistemde faz dengesizliğini azaltmak mümkün olsada BEDS'lerin ayrık faz temelli yönetilebilir olması BEDS'lerin faz dengesizliğine etkisini arttırmaktadır. BEDS'ler yükün az olduğu fazlarda şarj konumunda, yükün fazla olduğu fazlarda deşarj konumunda çalışarak faz dengesizliğini azaltabilmektedirler.

Sistemde BEDS'ler kullanılırken dikkat edilmesi gereken önemli konulardan biri ise BEDS'lerin sistemdeki dengesizliği azaltabilecekleri gibi arttırabileceklerinin de farkında olmaktır. Hali hazırda dengesiz olan bir sistemde başka nedenlerden dolayı kullanılan BEDS'ler sistemde kritik düzeyde faz dengesizliğine neden olabilirler.

4. ÖRNEK SİSTEM İNCELEMELERİNDE KULLANILAN SEZGİSEL ALGORİTMALAR

BEDS'ler dağıtım sisteminde kullanılırken planlamasının ve işletiminin çok iyi yapılması gerekmektedir. Planlama aşamasında BEDS'lerin yerleri ve boyutları BEDS'lerin hangi amaçla kullanılacağına göre değişmektedir. Ayrıca BEDS'lerin yerleri ve boyutlarının iyi belirlenmesiyle BEDS'lerin verimliliği arttırılabilmektedir. Bu yüzden planlama aşaması yapılırken dikkat edilmesi gerekmektedir. BEDS'ler işletme esnasında da BYS ile beraber kullanılarak en verimli şekilde çalıştırılması gerekmektedir. Yanlış işletilen BEDS'lerin sistemde olumsuz etkileri olabilmektedir. Bu çalışma BEDS'lerin işletme sırasında sistemde nasıl bir etki yaratabileceğini bize göstermektedir.

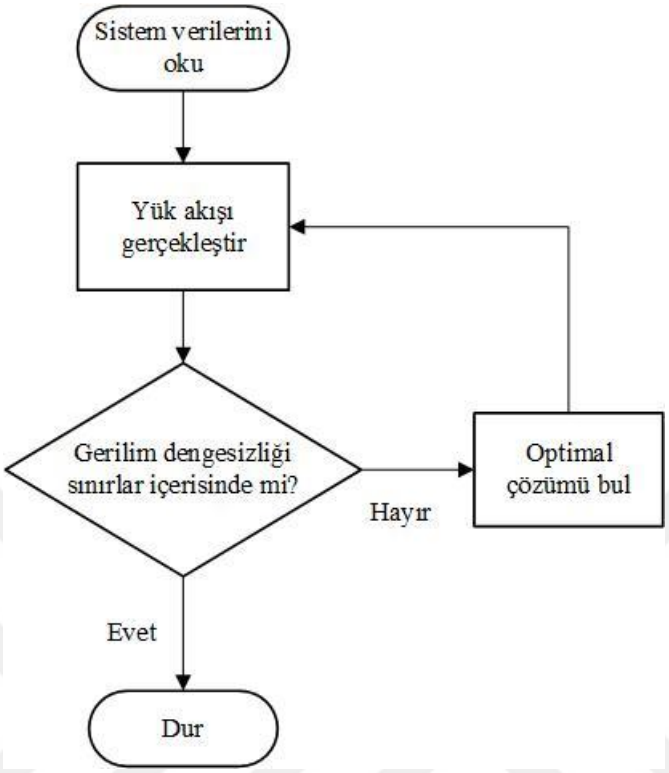
4.1 Çok Amaçlı Optimizasyon

Optimizasyon, belirli bir probleme bir dizi kısıtla beraber en iyi çözümü aramak olarak tanımlanabilir. Eğer problemde bir tane optimize edilecek hedef varsa, mümkün olan en iyi yaklaşımı veya çözümü bulabiliriz ancak çok amaçlı bir optimizasyon probleminde optimizasyon süreci karmaşık hale gelebilir. Çok amaçlı optimizasyon problemlerinde çoğu zaman tek bir sonuç yerine, bir sonuç kümesi üzerinden seçim yapılması gerekmektedir.

Yapılan çalışmada çoklu amaç fonksiyonu kullanılarak gerilim dengesizliği ve sistemdeki kayıplar minimize edilmiştir. Bunun için sezgisel optimizasyon yöntemlerinden genetik algoritma ve parçacık sürüsü optimizasyonundan yararlanılmıştır. Kullanılan optimizasyon yöntemleri bir sonraki bölümde detaylı bir şekilde anlatılmaktadır.

Şekil 4.1'de optimizasyonlarda ortak olarak kullanılan akış diyagramı verilmiştir. Akış diyagramına göre ilk önce sistemden alınan verilerle birlikte yük akışı gerçekleştirilir. Hesaplanan bara gerilimleriyle denklem 3.4'te verilen gerilim dengesizliği oranı (%VUF) her bara için bulunur. Yapılan optimizasyonla birlikte sistemdeki en yüksek

gerilim dengesizliği oranının sınırlar içerisinde kalması sağlanmaktadır. Gerilim dengesizliğinin yanında kayıplar da başlangıç koşuluna göre azaltılmaktadır.



Şekil 4.1 : Optimizasyonda kullanılan akış diyagramı.

Denklem 4.1 ve 4.2'de çok amaçlı optimizasyonun amaç fonksiyonları verilmiştir.

$$\min F_1(x) = \%VUF \tag{4.1}$$

Gerilim dengesizliği yani F_1'in önceki bölümlerde anlatıldığı gibi birçok tanımı olmasına rağmen optimizasyon probleminde %VUF olarak kullanılmıştır. Denklem 4.1'de sistemde bütün baraların gerilim dengesizliği hesaplanarak sistemdeki maksimum gerilim dengesizliğinin azaltılması amaçlanırken, denklem 4.2'de sistemdeki kayıpların minimuma indirilmesi amaçlanmaktadır.

$$\min F_2(x) = P_{kayıp} \tag{4.2}$$

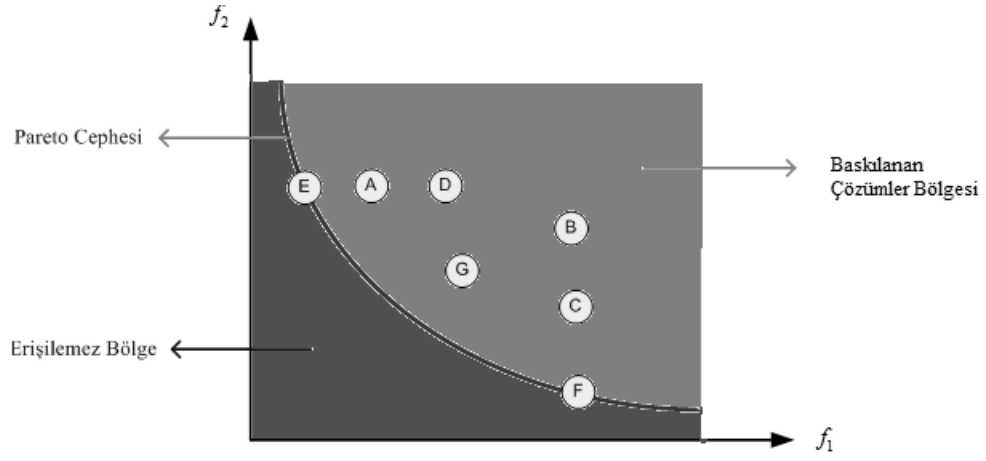
Kayıplar denklem 4.3'teki gibi bulunabilmektedir.

$$P_{kayıp} = I^2 \times R \tag{4.3}$$

Denklem 4.3'te I hattan akan akım ve R ise hattın direncini temsil eder. Üretim, tüketim ve kayıpların toplamı olduğundan kayıpları minimize etmek üretimi de

azaltmak demektir. Aynı tüketim miktarı için, üretim miktarındaki bir azalış elektriğin birim maliyetini düşürür. Birim maliyetin azalması da ekonomik olarak tüketicilere fayda sağlar. Bu yüzden kayıpların minimize edilmesi dağıtım şirketleri için önemli bir konudur.

Çok amaçlı optimizasyonlarda tek bir çözümün değil birçok çözüm vardır. Bulunabilecek çözümlerden hangilerinin daha iyi olduğunu tespit etmek amacıyla Pareto optimal, pareto cephe gibi terimler kullanılmaktadır. Pareto optimal çözüm, arama uzayında, herhangi bir diğer çözüm tarafından domine edilmeyen çözümdür [50]. Bir karar vektörünün (x1) dominantlığı (baskınlık) başka bir karar vektöründen (x2) en azından bir amaç işleminde çok iyiyse olduğu durumdur. Pareto cephesi tüm amaç fonksiyonları göz önünde bulundurulduğunda oluşacak domine eden tüm çözümlerin kümesidir. Pareto cepheyi daha iyi açıklamak için Şekil 4.2'den yararlanabiliriz. Şekil 4.2'de iki tane mimizime etme problemi gösterilmiştir. Bu şekle göre E çözümü A ve D çözümlerini domine ederken, F çözümü ise B ve C çözümlerini domine etmektedir. E ve F çözümlerine amaç uzayı içerisinde baskın gelecek başka çözümler olmadığı için bu çözümler Pareto-optimal çözüm kümesi içerisinde yer almaktadırlar. Pareto Cephesi üzerinde gezinerek, farklı amaçlardaki farklı tolerans seviyelerine ilişkin çözümleri bulmak mümkündür [51].



Şekil 4.2 : Pareto Cephesi [51].

4.1.1 Ağırlıklı Toplam Yöntemi

Ağırlıklı toplam yönteminde çok amaçlı optimizasyondaki amaç fonksiyonları bir araya getirilerek tek amaçlı bir optimizasyon problemi oluşturulur. Denklem 4.4'te iki amaç fonksiyonu birleştirilip, tek bir amaç fonksiyonlu optimizasyona çevrilmiştir.

$$min\ F = w_1 * F_1 + w_2 * F_2 \quad (4.4)$$

Denklem 4.4'te görülen, F_1 sistemdeki maksimum gerilim dengesizliğini, w_1 F_1'in amaç fonksiyonundaki ağırlığını, F_2 kayıpları ve w_2 ise F_2'in amaç fonksiyonundaki ağırlığını ifade etmektedir. Burada amaç F_1 yani sistemdeki maksimum gerilim dengesizliğini minimize ederken aynı zamanda kayıplarıda minimize etmektir. Yeni oluşturulan amaç fonksiyonundaki ağırlıkların toplamı (w_1 ve w_2) her zaman biri vermektedir. Ağırlıklar değiştirilerek tek amaçlı optimizasyon problemi oluşturmak mümkündür. Farklı ağırlıklar ile farklı pareto çözümleri elde etmek mümkündür. Bu yüzden tek amaçlı optimizasyon problemi oluştururken ağırlıkları yapılacak uygulamaya göre belirlemek çok önemlidir.

4.1.2 Optimizasyon Probleminde Kısıtlar

Her optimizasyon probleminde olduğu gibi burada da çoklu amaç fonksiyonuna ulaşırken bir takım kısıtlamaların getirilmesi gerekmektedir. BEDS'leri sistemde kullanırken bazı kısıtlamalar vardır. Bu amaçla optimizasyona iki tane kısıtlama getirilmiştir.

Kısıtlamalardan ilki hatlardan geçen akımların hatların akım taşıma kapasitelerinin üzerine geçmemesi gerekliliğidir. BEDS'ler şarj konumundayken yük ve deşarj konumundayken kaynak olarak kullanıldıklarından hatlardan akan akıma etki ederler.

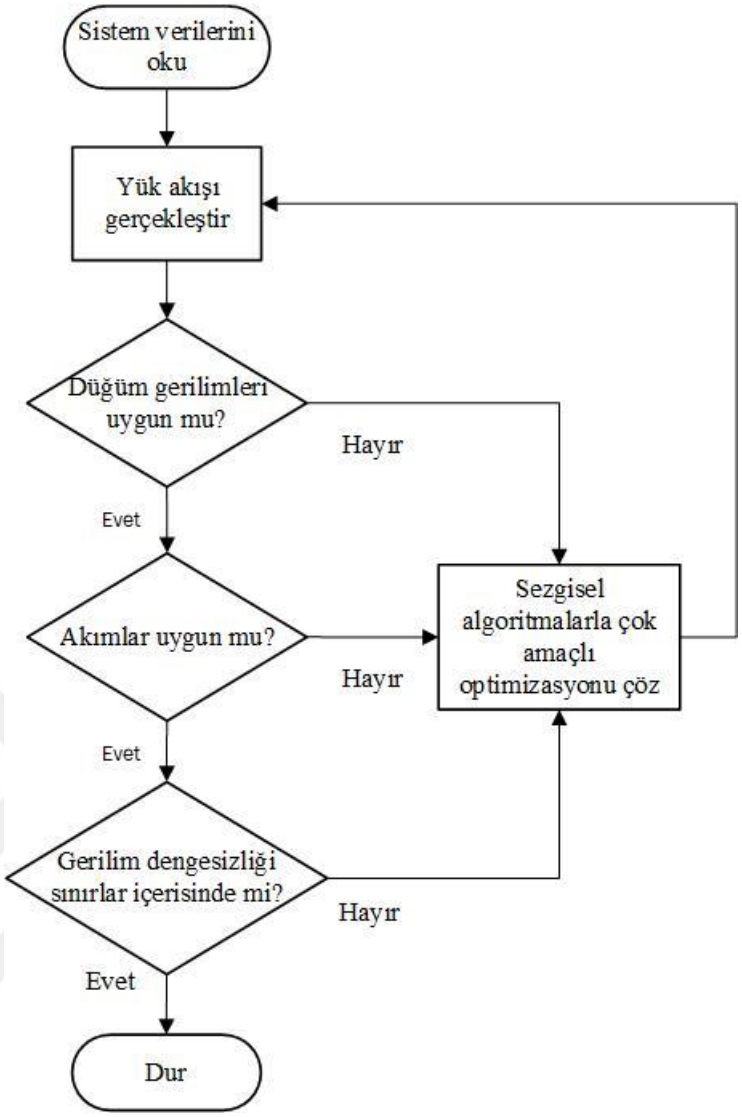
$$I_{hat} > I_{kapasite} \quad (4.5)$$

Denklem 4.5'te görülen I_{hat} hattan geçen akım ve $I_{kapasite}$ ise o hattın akım taşıma kapasitesini göstermektedir.

İkinci kısıt ise bara gerilimlerinin belirlenen değerler arasında kalmasıdır. Akım kısıtında olduğu gibi BEDS'ler sistemde bara gerilimlerini oldukça fazla etkilemektedir. Buna göre gerilim kısıtı denklem 4.6'da görüldüğü gibi olmaktadır. Optimizasyon sırasında bütün bara gerilimleri denklem 4.6'da verilen sınırlara göre ayarlanmıştır [46].

$$1.1 \times \mathrm{Vbara} > \mathrm{Vbara} > 0.90 \times \mathrm{Vbara} \quad (4.6)$$

Şekil 4.3, Şekil 4.1'e optimizasyondaki kısıtlar eklenerek oluşturulmuştur. Şekil 4.3'te kısıtlarda herhangi bir ihlal olduğunda BEDS parametrelerinin yeniden düzenlenerek optimizasyonun tekrarlanması gerektiği vurgulanmıştır.



Şekil 4.3 : Belirlenen kısıtlarla beraber optimizasyonda kullanılan akış diyagramı.

4.2 Kullanılan Optimizasyon Yöntemleri

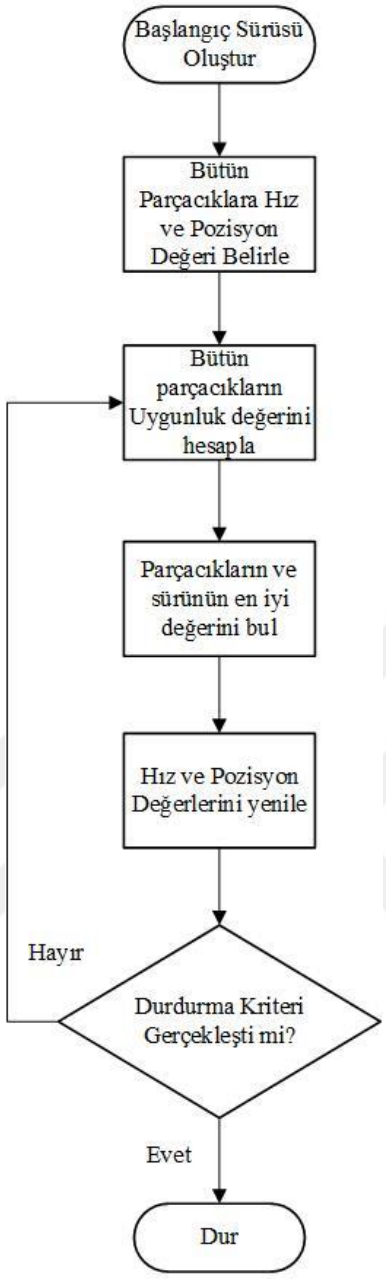
Sezgisel optimizasyonlar, hızlı bir şekilde optimuma çok yakın çözümler verebilen optimizasyonlardır. Sezgisel optimizasyonlar biyoloji tabanlı, fizik tabanlı ve sosyal tabanlı olarak değerlendirilebilirler. BEDS'lerin sezgisel optimizasyonlar ile dağıtım sisteminde dengesizliğe ve kayıplara etkisini bulurken iki farklı yöntem kullanılmıştır.

4.2.1 Parçacık Sürüsü Optimizasyonu

PSO 1995 yılında Kennedy ve Eberhart tarafından ortaya atılmıştır [52]. PSO kuşlar ve balıklar gibi sürü halinde dolaşan hayvanların hareketlerinden yola çıkarak oluşturulmuş bir sezgisel optimizasyon yöntemidir. PSO'da her bir parçacık bir

çözümü ifade eder. Bu parçacıklardan sonuca en yakın olan takip edilerek en iyi çözüme ulaşılır.

Her bir parçacığı kuş sürüsü içinden yemek aramak için hareket eden kuş gibi düşünmemiz mümkündür. Her bir kuş (parçacık) yiyecek aramak için rastgele ortama dağılır ve belirli bir hızla yol katederek yiyeceği bulmaya çalışırlar. Sürüdeki bütün kuşlar yer bilgilerini ve yiyeceğe olan uzaklıklarını birbirlerine söyleyerek yiyeceği daha hızlı bir şekilde bulurlar. PSO'da bütün parçacıklar ortama rastgele dağıldıktan sonra belirli bir hızla hareket ederek yeni konumlar elde ederler. Her bir hareketten (iterasyon) sonra farklı bir uygunluk değerine ulaşırlar ve sistemde birçok uygunluk değeri oluşur. Önemli olan burada her bir parçacık için en iyi değer olarak kabul edilen pbest ve sürünün en iyi değeri olan gbest'in bulunmasıdır. Bu değerler parçacıkların bir sonraki hareketi için referans olurlar. Ayrıca pbest ve gbest değerleri daha sonra kullanılmak için hafızada tutulurlar. Her optimizasyonda olduğu gibi PSO'nun da sonlandırılması için bir durdurma kriterin belirlenmesi gerekmektedir.



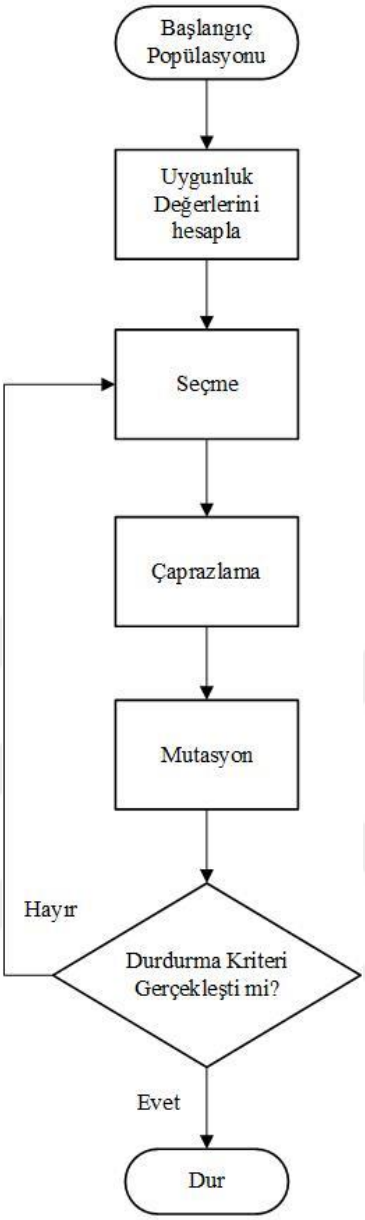
Şekil 4.4 : PSO akış diyagramı.

4.2.2 Genetik Algoritma

GA 1970'li yıllarda John Holland tarafından geliştirilen sezgisel bir optimizasyon yöntemidir [53]. Aslında GA'nın temelleri 19. Yüzyılda yaşamış ünlü bilim adamı Charles Darwin'nin geliştirdiği evrim teorisine dayanmaktadır. Evrimsel süreçte güçlü ve uyumlu olanlar hayatta kalarak genetik bilgilerini bir sonraki nesile aktarırlar. Böylelikle sürünün hayatta kalması sağlanmış olur. GA'da da buna benzer bir metot kullanılmaktadır.

GA çözüm kümelerinin rastgele oluşturduğu bir toplumla başlar. Toplumda üreme için kullanılacak bireyler uyumluluğu en yüksek olanlar içinden çeşitli seçme yöntemleri kullanılarak seçilirler. Uygulamada birçok seçme yöntemi bulunmaktadır. Rulet çemberi, turnuva ve rank seçim yöntemi bunlara örnek olarak verilebilir. Üreme için seçilen bireylere ebeveyn adı verilmektedir. Ayrıca GA'da üreme işlemine çaprazlama denmektedir. Çaprazlamada ebeveynlerin iyi olan genleri alınarak yeni bireyler oluşturulur. Böylelikle oluşan yeni toplumlarda uyumluluk oranı yükselmiş olur.

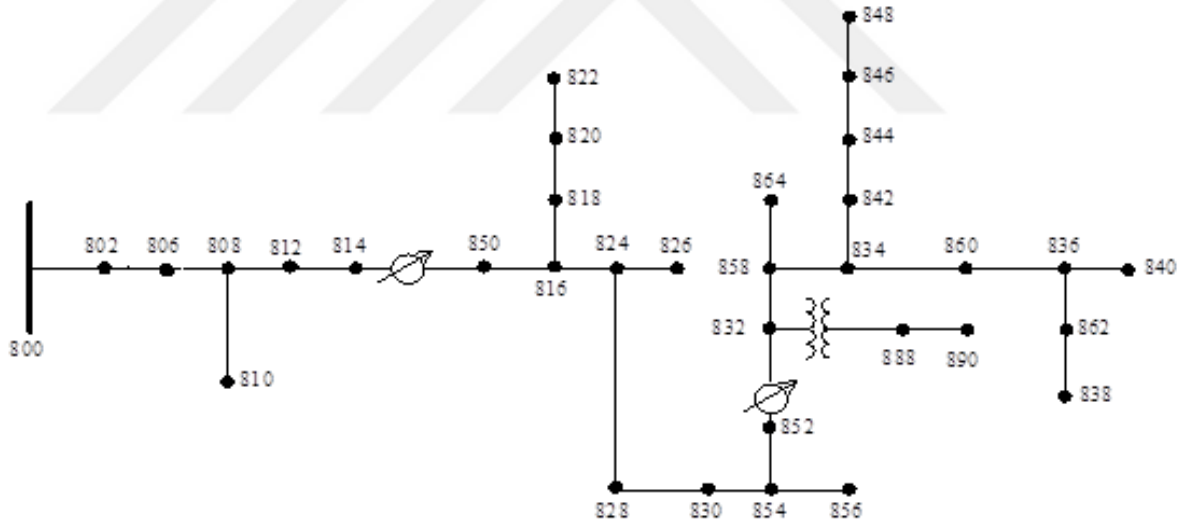
Toplumdaki bütün bireyler aranan uyumluluk değerine ulaştığında optimizasyon amacına ulaşmış olmaktadır. Optimizasyonun sonsuza kadar çalışmaması için sonlandırma işleminin yapılması gerekmektedir. Jenerasyon sayısı veya süre limiti gibi kısıtlar belirleyerek optimizasyonun sonlandırılması sağlanabilmektedir. Ayrıca çözümler istenilen düzeyde olduğunda da optimizasyon bitirilerek karmaşık problemlerin çözümü elde edilebilir. Kısacası GA karmaşık problemlerin çözüm alternatifleri arasından optimum çözümü bulmak için kullanılan bir arama yöntemidir [54].



Şekil 4.5 : GA akış diyagramı.

5. ÖRNEK SİSTEM İNCELEMELERİ

Örnek sistem incelemeleri için IEEE 34 bara test sistemi kullanılmış olup devre şeması Şekil 5.1'de gösterildiği gibidir. Bu test sistemi Arizona'da bulunan gerçek bir orta gerilim şebekesidir. Sistemde 24.9 kV ve 4.16 kV olmak üzere iki tane gerilim seviyesi bulunmaktadır. Ayrıca sistemde 2 tane regülatör, 2 tane transformatör, 6 tane baraya bağlı yük ve 19 tane yayılı yük bulunmaktadır. Orijinal test sistemindeki regülatörlerin kademeleri incelemeler boyunca değiştirilmemiştir. BEDS'lerin bara gerilimleri üzerindeki etkisi incelendiğinden regülatör kademelerinin değişmesi istenmemektedir. Test sistemi karakteristik olarak az yüklü ve uzun hatları olan bir dağıtım şebekesidir. Ayrıca şebekede kullanılan gerilimin frekansı 60 Hz'dir.



Şekil 5.1 : IEEE 34 bara test sistemi tek hat şeması.

Örnek sistem incelemeleri sırasında yük akışı analizi için OpenDSS programından yararlanılmıştır. OpenDSS programı, açık kaynak kodlu ve yazıya dayalı bir ara yüze sahip olan elektrik dağıtım sistem simülasyonlarında kullanılan bir programdır. OpenDSS programının önemli özelliklerinden biri başka bir programla birlikte kullanılabilir olarak tasarlanmasıdır. Örnek sistem incelemeleri yapılırken OpenDSS, Matlab programıyla birlikte kullanılarak optimizasyonlar gerçekleştirilmiştir.

Optimizasyon sürecinde hem GA'dan hem de PSO'dan yararlanılmıştır. Sistemdeki her bir baranın gerilim dengesizliği hesaplanarak maksimum gerilim dengesizliği azaltılmıştır. Ayrıca optimizasyona kayıpların minimize edilmesi de eklenmiştir. Burada amaç EA ile sistemde artabilecek dengesizliği BEDS sistemleriyle tekrar kabul edilebilir sınırlar içerisine getirmektir. Bunu yaparken dağıtım şirketleri için çok önemli bir konu olan sistem kayıpları da minimize edilmiştir.

Bu çalışmada gerilim dengesizliğini ve kayıpları azaltmak amacıyla sistemde 3 ve 4 BEDS kullanılmak üzere iki farklı durum ele alınmıştır. Her bir durum için farklı işletim koşulları altında sezgisel algoritmaya dayalı analizler yapılmıştır. Bu analizler esnasında BEDS'lerin çalışma durumları optimize edilmiştir.

BEDS'lerin çalışma durumları örnek sistem incelemelerinde Çizelge 5.1'deki gibi kullanılmıştır. Ayrıca BEDS'ler anlık olarak ya deşarj yada şarj durumunda çalışabilmesi için optimizasyon sırasında %50 dolu olacak şekilde analizler yapılmıştır.

Çizelge 5.1 : BEDS'lerin optimizasyonda kullanıldığı çalışma durumları.

BEDS'lerin Çalışma Durumu	Anlamları
0	Boşta
1	Şarj
2	Deşarj

Optimizasyonların her biri 5'er kere yapılmış ve minimum toplam amaç fonksiyonları sonuç olarak verilmiştir.

5.1 Orijinal ve Yüklerin Arttırıldığı Durum

Orijinal sistemde gerilim dengesizliği belirlenen sınırlar içerisinde olduğundan durum 1'de yükler değiştirilerek sistemde dengesizlik yaratılmıştır. BEDS'lerin gerilim dengesizliğe etkisini daha iyi görebilmek için yükler, gerilim dengesizliğini sınırlar içerisinden çıkacak şekilde değiştirilmiştir. Değiştirilen yükler Çizelge 5.2'de olduğu gibidir. Ayrıca değiştirilen yüklerle birlikte bara gerilimleri de bölüm 4'te verilen sınırların dışına çıkmaktadır.

Çizelge 5.2'de " * " işaretlenmiş baralardaki yükler iki katına çıkartılırken diğer yükler üç katına çıkartılmıştır. Ayrıca Çizelge 5.2'de olan ilk iki yük noktasal yükken, diğer yükler yayılı yüklerdir.

Çizelge 5.2 : IEEE 34 bara test sisteminde değiştirilen yükler.

	Orjinal Yükler			Değiştirilen Yükler		
Bara No	A	B	C	A	B	C
830	10 - 5	10 - 5	25 - 10	30 - 15	30 - 15	75 - 30
840	9 - 7	9 - 7	9 - 7	27 - 21	27 - 21	27 - 21
816-824	0	5 - 2	0	0	15 - 6	0
824-826 *	0	40 - 20	0	0	80 - 40	0
858-834	4 - 2	15 - 8	13 - 7	12 - 6	45 - 24	39 - 21
834-860 *	16 - 8	20 - 10	110 - 55	32 - 16	40 - 20	220 - 110
860-836 *	30 - 15	10 - 6	42 - 22	60 - 30	20 - 12	84 - 44

x – y gibi gösterilen yükler için x aktif güç ve y reaktif gücü göstermektedir.

Çizelge 5.3'te ise orijinal durum ve yüklerin arttırıldığı durum için sistemdeki kayıplar ve sistemdeki maksimum gerilim dengesizlikleri verilmiştir. Buna göre yükler arttırıldığında %VUF değeri yaklaşık 2.5 katına çıkmaktadır.

Çizelge 5.3 : IEEE 34 bara test sisteminin orijinal ve yük arttırıldığındaki durumu.

Uygulama	Sistemdeki Yüklerin Toplamı (kW)	Kayıplar (kW)	%Kayıp	Maksimum %VUF
Orjinal Durum	1760,7	270,1	15,34	0,9417
Yüklerin Arttırıldığı Durum	2132,7	417,9	19,59	2,299

Test sisteminde bulunan 890 numaralı bara gerilimleri orijinal sistemde de kabul edilebilir sınırlara yakın olduklarından yüklerin arttırılmasıyla gerilimler sınır dışına çıkmaktadırlar. Çizelge 5.4'te test sisteminin orijinal durumu ve yükler arttırıldığındaki durumu için 890 ve 852 numaralı baraların faz-nötr gerilimleri verilmiştir.

Çizelge 5.4 : Test sisteminde 890 ve 852 numaralı baraların faz-nötr gerilimleri.

Uygulama	V_{890}			V_{852}		
	A	B	C	A	B	C
Orjinal Durum	0,917	0,924	0,917	0,959	0,969	0,964
Yüklerin Arttırıldığı Durum	0,858	0,884	0,866	0,904	0,932	0,91531

Çizelge 5.4'te görüldüğü gibi 890 numaralı baranın faz-nötr gerilimlerinin yüzde gerilim ihlali A, B ve C fazlarına göre sırasıyla %4.2, %1.6 ve %3.4'dür.

5.2 Sistemdeki BEDS'lerin Tümünün Kontrolünün Şebekeye Bağlı Olması

2. durum, bütün BEDS sahiplerinin BEDS'lerini dağıtım şirketlerinin kontrolüne bıraktığı durumdur. Yani yapılan optimizasyon sırasında kullanılan bütün BEDS'lerin çalışma modları birer değişken olarak atanmıştır.

Bu durum için iki farklı sistem kurulmuştur. Birincisinde 3 fazlı gücü 150 kW olan 3 adet BEDS sisteme yerleştirilmiştir. İkincisinde ise 3 fazlı gücü 120 kW olan 4 adet BEDS sisteme yerleştirilmiştir. Güç değerlerinin belirlenmesinde sistemdeki yükler baz alınmıştır. Aynı zamanda birinci ve ikinci durumda toplam BEDS gücünün aynı tutulması istendiği için BEDS'lerin güçleri değiştirilmiştir. Bu inceleme dağıtık yerleştirilmiş BEDS'lerin sistemde nasıl bir etkisi olduğunu göstermektedir.

BEDS'ler birinci sistemde 840, 824 ve 890 numaralı baralara, ikinci sistemde ise 840, 824, 890 ve 812 numaralı baralara yerleştirilmiştir ve BEDS'lerin yerleri sistemdeki beslemeye olan uzaklıklarına göre belirlenmiştir. Çizelge 5.5'te BEDS'lerin optimizasyon olmadan sisteme etkilerini görmek için BEDS'ler şarj ve deşarj durumundayken sistemdeki kayıplar ve %VUF değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.5 : Sistemde 3 ve 4 tane BEDS varken kayıplar ve maksimum %VUF değerleri.

BEDS Sayısı	BEDS Durumları	Sistemdeki Yüklerin Toplamı (kW)	Kayıplar (kW)	%Kayıp	%VUF
3	Deşarj (2)	2243,8	254	11,32	2,016
	Şarj (1)	2022,4	590,8	29,21	2,292
4	Deşarj (2)	2231,4	270	12,1	2,045
	Şarj (1)	2034,1	574,4	28,25	2,273

Çizelge 5.5'te görüldüğü üzere BEDS'ler deşarj modundayken sistem kayıpları oldukça azalmaktadır. Aynı şekilde şarj modunda çalışırken de yüklerin arttırıldığı duruma göre kayıplar artmıştır. BEDS'ler deşarj modundayken bağlandıkları baralardaki yükleri besleyerek çekilen akımları düşürdükleri için kayıplar azalmakta, şarj modunda ise yük gibi davrandıklarından çekilen akımı yükselttikleri için kayıplar artmaktadır.

Daha sonra aynı BEDS'lerle ağırlıklı toplam yöntemiyle optimizasyonlar yapılmıştır. Yukarıda da belirtildiği gibi optimizasyon esnasında BEDS'lerin çalışma durumları değiştirilerek analizler yapılmıştır.

Ağırlıklı toplam yöntemiyle yapılan GA ve PSO'da denklem 4.4'te verilen w_1 ve w_2 değerleri değiştirilerek analizler yapılmıştır. Buna göre denklem 5.1 ve 5.2 optimizasyonlarda amaç fonksiyonu olarak kullanılmıştır.

$$min\ F = 1 * F_1 + 0 * F_2 \tag{5.1}$$

$$min\ F = 0{,}5 * F_1 + 0{,}5 * F_2 \tag{5.2}$$

Denklem 5.1'de w_1 ve w_2 değerleri bir ve sıfır alınmıştır. Böylece yapılan incelemelerde sadece faz dengesizliği minimize edilmiştir. Denklem 5.2'de ise w_1 ve w_2 değerleri 0.5 alınarak iki amaç fonksiyonunun da aynı öneme sahip olduğu bir durum incelenmiştir.

Üç ve dört BEDS kullanılarak yapılan optimizasyon sonuçları Çizelge 5.6'daki gibidir. Yapılan optimizasyonlar 5'er kere tekrarlanmış ve çıkan minimum sonuçlar verilmiştir. Kayıplar ve maksimum %VUF değerlerini aynı fonksiyon içerisinde kabul edebilmek için kayıplar normalize edilmiştir. Kayıplar normalize edilirken denklem 5.3'ten yararlanılmıştır.

$$Pkayıp_{normal} = \frac{P_{kayıp}}{100} \tag{5.3}$$

Çizelge 5.6 : Sistemde 3 ve 4 adet BEDS varken optimizasyon sonuçları.

BEDS Sayısı	Amaç Fonksiyonu	GA		PSO	
		Kayıplar (kW)	%VUF	Kayıplar (kW)	%VUF
3	1 * w1 + 0 * w2	316,94	1,226	316,94	1,226
	0,5 * w1 + 0.5 * w2	304,91	1,245	304,91	1,245
4	1 * w1 + 0 * w2	321,83	1,295	318,06	1,322
	0,5 * w1 + 0.5 * w2	312,54	1,362	312,54	1,362

Çizelge 5.6 gösteriyor ki kayıpların amaç fonksiyonundaki ağırlığı arttırıldığında optimizasyonlar farklı sonuçlar vererek kayıpların daha fazla azalmasını sağlamaktadır. Aynı zamanda 3 tane BEDS kullanılan sistemde hem kayıplar hem de maksimum %VUF değerleri daha düşük değerlere inmektedir. Yapılan optimizasyonlar BEDS'lerin bağlantı noktalarının ne kadar önemli olduğunu ve BEDS sayısının artması durumunda kayıpların ve maksimum %VUF değerinin artabileceğini göstermektedir. Bu yüzden BEDS'lerin sayısı ve uygun bağlantı noktalarının bulunması önemlidir. Çizelge 5.6'da GA ve PSO'nun aynı yada birbirine çok yakın sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Bunun nedeni olarak göz önüne alınan sistemin boyutlarının küçük olması değerlendirilmiştir. PSO ile yapılan çözümlerin daha hızlı

olduğu görülmüştür. Yapılan optimizasyon sonuçlarına göre BEDS'lerin çalışma durumları Çizelge 5.7'de verilmiştir.

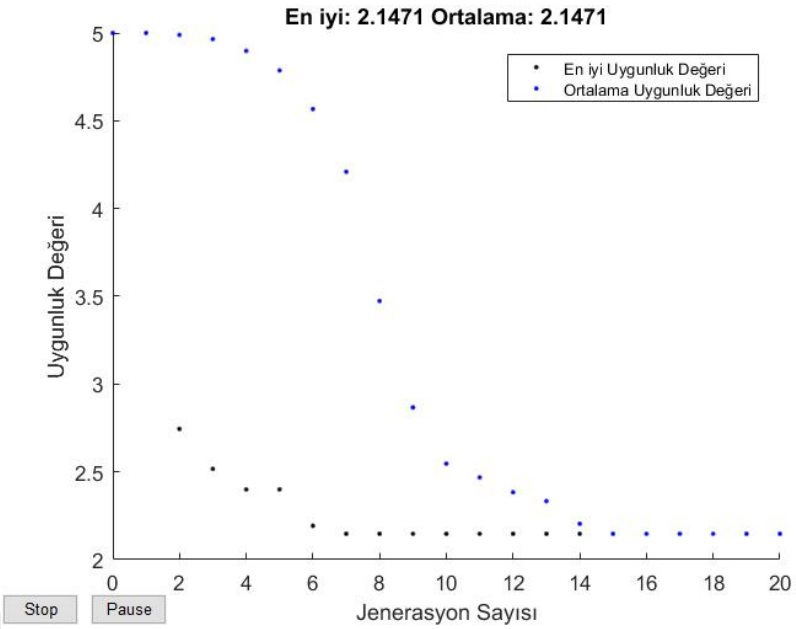
Çizelge 5.7 : Sistemde 3 ve 4 adet BEDS varken optimizasyon sonucundaki çalışma durumları.

BEDS sayısı	Amaç Fonksiyonu	Optimizasyon Yöntemi	BEDS'lerin Çalışma Durumları											
			840			824			890			812		
			A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
3	1 * w1 + 0 * w2	GA	2	1	2	0	0	2	2	2	2	-	-	-
		PSO	2	1	2	0	0	2	2	2	2	-	-	-
	0,5 * w1 + 0.5 * w2	GA	2	1	2	0	2	2	2	2	2	-	-	-
		PSO	2	1	2	0	2	2	2	2	2	-	-	-
4	1 * w1 + 0 * w2	GA	2	1	2	0	2	2	2	2	2	1	2	2
		PSO	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	0	2
	0,5 * w1 + 0.5 * w2	GA	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2
		PSO	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2

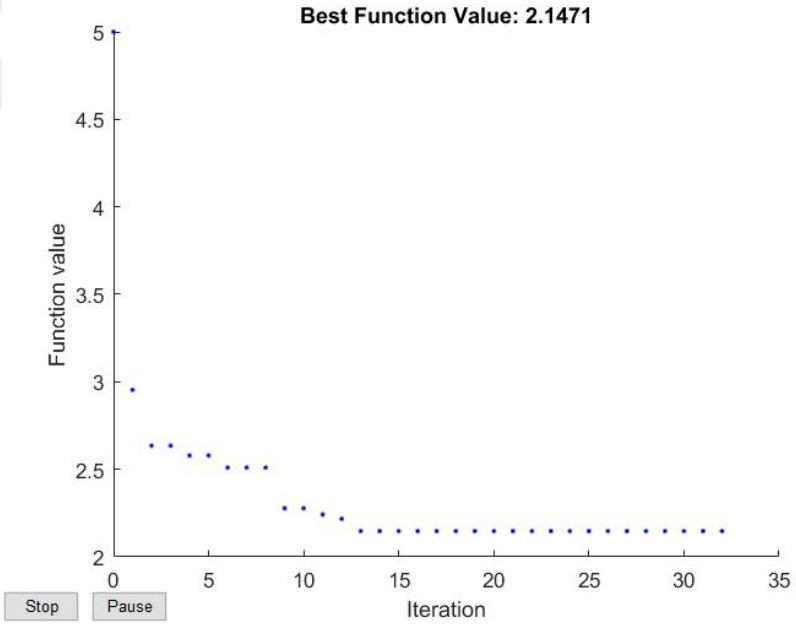
Çizelge 5.7'de görüldüğü üzere 890 numaralı baradaki BEDS bütün sonuçlarda deşarj konumunda çalışmaktadır. Bunun nedeni 890 numaralı bara gerilimlerinin düşük olmasıdır. Optimizasyon süreçlerinde gerilim kısıtı olduğundan 890 numaralı bara gerilimlerini normal seviyeye getirebilmek için BEDS'ler deşarj konumunda çalışmaktadır. Gerilim kısıtı olmadan yapılan optimizasyonlar farklı sonuçlar vermektedir. Çizelge 5.7'ye bakıldığında amaç fonksiyonundaki ağırlıkların değiştirilmesiyle bazı baralardaki BEDS'lerin çalışma durumlarında değişiklik olduğu görülmektedir. Çalışma durumlarında yaşanan değişiklikler Çizelge 5.6'da da görüldüğü gibi sonuçlarda da farklılıklar yaratmaktadır.

Şekil 5.2 ve 5.3'te sistemde 3 adet BEDS kullanıldığı durumda Çizelge 5.6'da verilen amaç fonksiyonlarının eşit ağırlıkta olduğu durum için yapılan GA ve PSO sonuçları verilmiştir. Şekil 5.2 ve 5.3'te görülen en iyi uygunluk değerleri toplam amaç fonksiyonlarını göstermektedir.

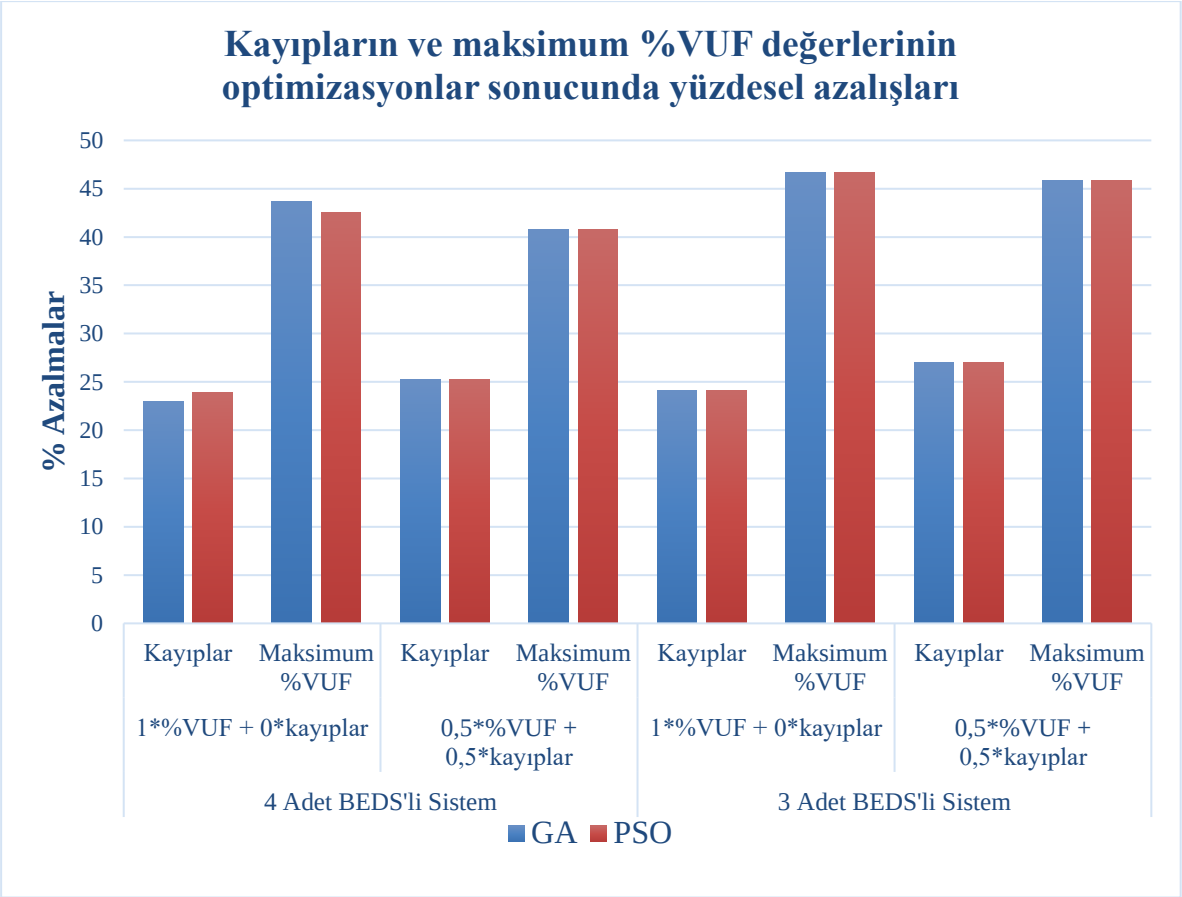
Şekil 5.4'te sistemde 3 ve 4 adet BEDS varken yapılan optimizasyonlar sonucunda kayıpların ve maksimum %VUF değerinin yüzdesel olarak ne kadar azaldığı gösterilmiştir. Grafiğe göre sistemde 3 adet BEDS bulunması durumunda kayıpların ve maksimum %VUF değerinin daha fazla azalacağı görülmektedir. Aynı zamanda toplam amaç fonksiyonundaki ağırlıkların sonuca etkisi çok rahat bir şekilde fark edilmektedir.



Şekil 5.2 : 3 adet BEDS varken ikinci amaç fonksiyonu için GA sonucu.



Şekil 5.3 : 3 adet BEDS varken ikinci amaç fonksiyonu için PSO sonucu.



Şekil 5.4 : Optimizasyon sonucunda kayıplar ve maksimum %VUF'da azalmalar.

5.3 Sistemdeki BEDS'lerden Birkaçının Kontrolünün Şebekeye Bağlı Olması

Sistemde 4 adet BEDS varken bunlardan 824 numaralı baradaki BEDS'nin dağıtım sistem işletmecisi tarafından yönetilmediği durum incelenmiştir. Market koşulları altında bazı BEDS sahiplerinin dağıtım şirketlerini desteklemedikleri varsayılmıştır. Böyle bir koşulda 840, 890 ve 814 numaralı baralardaki BEDS'lerin çalışma koşulları değiştirilerek ve 824 numaralı baradaki BEDS'yi sabit bir konumda tutarak optimizasyonlar gerçekleştirilmiştir. 824 numaralı baradaki BEDS'nin işletmecisi anlık olarak sisteme enerji satmak veya sistemden enerji almak isteyebileceğinden BEDS'nin deşarj ve şarj konumunda çalıştığı varsayılmıştır. Elektriğin anlık fiyatlandırması düşünüldüğünde işletmecinin BEDS'yi istediği şekilde neden yönetmek istediği anlaşılmaktadır.

Burada yapılan senaryo 3 adet BEDS ile denenmiş olup yeterli değişken sayısı elde edilemediğinden sonuçlar verilmemiştir.

824 numaralı baradaki BEDS'nin gerilim dengeleme ve kayıp minimizasyonuna katılmadığında yapılan analizlerin sonucu Çizelge 5.8'de verilmiştir.

Çizelge 5.8 : 824 numaralı baradaki BEDS yönetilemediği durumdaki optimizasyon sonuçları.

824 numaralı Baradaki BEDS'nin Çalışma Durumu	Amaç Fonksiyonu	GA		PSO	
		Kayıplar (kW)	%VUF	Kayıplar (kW)	%VUF
Deşarj	1 * w1 + 0 * w2	318,02	1,322	318,02	1,322
	0,5 * w1 + 0.5 * w2	312,51	1,362	312,51	1,362
Şarj	1 * w1 + 0 * w2	342,58	1,776	342,58	1,776
	0,5 * w1 + 0.5 * w2	336,75	1,834	336,75	1,834

Çizelge 5.8'de görüldüğü gibi 824 numaralı baradaki BEDS sistem işletimini desteklemese bile diğer BEDS'ler faz dengesizliğini sınırlar içerisine çekmeyi başarmışlardır. Ayrıca yapılan analizlerde GA ve PSO aynı sonuçları vermiştir. Yukarıda da belirtildiği gibi PSO'nun daha hızlı bir şekilde sonuç vermesi aralarındaki farklardan bir tanesidir. Çizelge 5.9'da 824 numaralı baradaki BEDS'nin faz dengeleme için kullanılmadığı durum için yapılan optimizasyon sonuçlarına göre BEDS'lerin çalışma durumları verilmiştir.

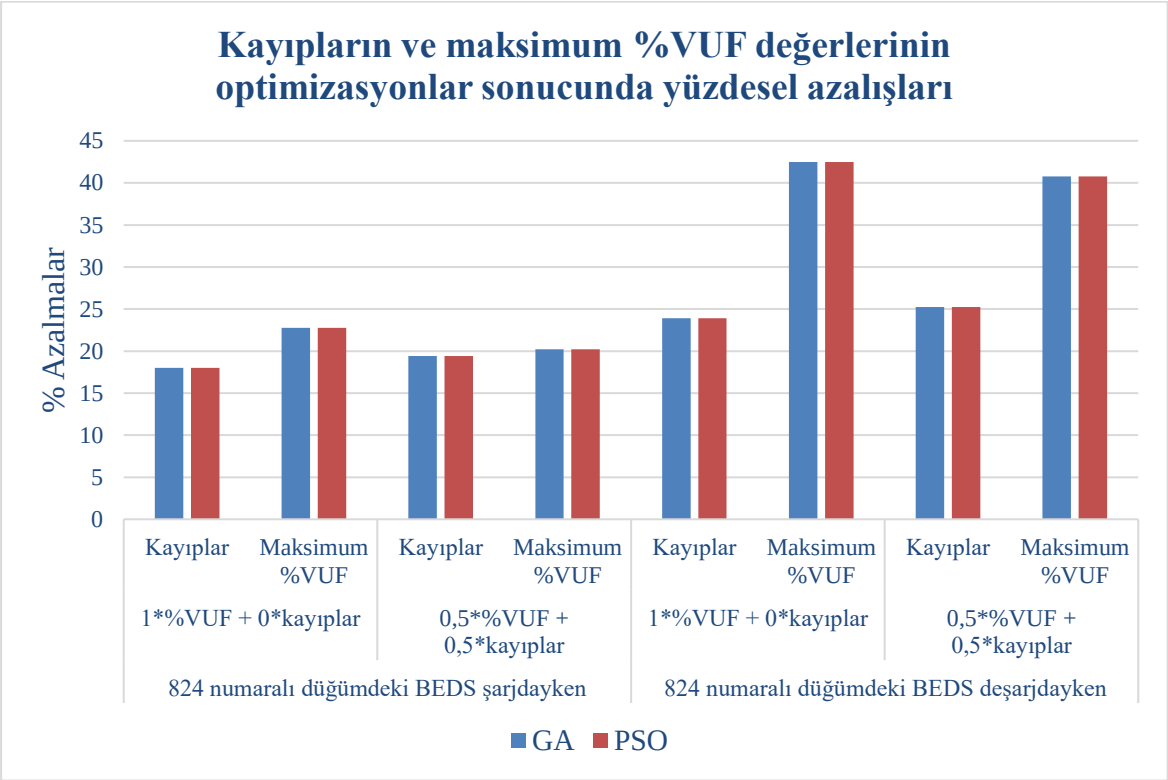
Çizelge 5.9 : 824 numaralı baradaki BEDS'nin faz dengeleme için kullanılmadığı durumdaki BEDS'lerin çalışma durumları.

824 numaralı Baradaki BEDS'nin Çalışma Durumu	Amaç Fonksiyonu	Optimizasyon Yöntemi	BEDS'lerin Çalışma Durumları											
			840			824			890			812		
			A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Deşarj	1 * w1 + 0 * w2	GA	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	0	2
		PSO	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	0	2
	0,5 * w1 + 0.5 * w2	GA	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2
		PSO	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2
Şarj	1 * w1 + 0 * w2	GA	2	0	2	1	1	1	2	2	2	2	0	2
		PSO	2	0	2	1	1	1	2	2	2	2	0	2
	0,5 * w1 + 0.5 * w2	GA	2	0	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2
		PSO	2	0	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2

Çizelge 5.9'da görülüyor ki amaç fonksiyonundaki ağırlıklar değiştirildiğinde sadece 812 numaralı baradaki BEDS'nin B fazında bir değişiklik olmaktadır. Amaç fonksiyonundaki ağırlıklar değiştirildiğinde farklı BEDS'lerinde çalışma durumlarında değişiklik olabilmektedir.

Şekil 5.5'te sistemde 824 numaralı baradaki BEDS, market koşulları gereğince çalışma modunu değiştirmeyerek sistem işletimine katkıda bulunmadığı durum için kayıpların ve maksimum %VUF değerinin yüzdesel olarak ne kadar azaldığı

gösterilmiştir. 824 numaralı baradaki BEDS deşarj modundayken kayıplar ve maksimum %VUF değerinde gözle görülür bir azalış vardır.



Şekil 5.5 : 824 numaralı baradaki BEDS yönetilemediği durumda yapılan optimizasyonlardan sonra kayıplar ve maksimum %VUF'daki azalmalar.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmada öncelikle elektrik tüketiminin artmasıyla birlikte çevreye verilen zararların yenilenebilir enerji kaynakları ve elektrikli araçların kullanımıyla azaltılabileceğinden bahsedilmiştir. Daha sonra sistemde yenilenebilir enerji kaynaklarının ve EA'ların artmasıyla doğabilecek sorunlar irdelenmiştir. Bu sorunlar içerisinde faz dengesizliği incelenmiştir. Faz dengesizliğinin çeşitleri ve dağıtım sistemine olan etkileri verilmiştir. Aynı zamanda faz dengesizliğini önlemek için kullanılan yöntemler sıralanmıştır.

BEDS'lerin gelişmekte olan bir teknoloji olduğu ve birçok alanda kullanılabileceği vurgulanmıştır. Uygulama alanlarına göre BEDS'lerin farklı şekillerde modellenebileceği ve bu modellerin neler olduğu açıklanmıştır. Çalışmanın ana konusu olan faz dengesizliğinin giderilmesi için yapılabilecek yöntemlere ek olarak BEDS sistemlerinin kullanılması önerilmiştir.

Modellemeler yapılırken ilk önce 34 baralı IEEE test sisteminde faz dengesizliği yaratmak için yükler dengesiz bir şekilde arttırılmıştır. Daha sonra test sisteminde BEDS'lerin yerleştirilmesiyle oluşacak etkileri görmek için incelenmeler yapılmıştır.

Faz dengesizliğini gidermek için 3 fazlı ortak yönetilen BEDS yerine ayrık faz temelli yönetilebilir BEDS birimlerinin olduğu durumlar varsayılmıştır. Böylelikle her baradaki BEDS'ler çalışma durumu kontrol edilip daha esnek bir kontrol yapısı elde edilebilmektedir. Fazlar ayrık olarak yönetilebildiğinde BEDS'lerin SoC değerleri uygunsa BEDS'ler yükün fazla olduğu fazlarda deşarj konumunda ve yükün az olduğu fazlarda şarj konumunda çalışarak sistemde oluşacak faz dengesizliğini azaltabilmektedirler.

Sistemde işletim kısıtları altında faz dengesizlikleri içinde gerilim dengesizliğinin giderilmesine odaklanılmıştır. Aynı zamanda sistemdeki aktif güç kayıplarının azaltılması da hedeflenmiştir. Sistem işletim kısıtları olarak bara gerilimleri ve hatların akım taşıma kapasitesi düşünülmüştür.

Önerilen yöntemdeki çok amaçlı optimizasyon probleminin çözümünde sezgisel algoritmalar kullanılmıştır. Problemin çözümü MATLAB ortamında oluşturulmuş olup GA ve PSO'dan yararlanılmıştır.

Örnek inceleme sonuçları, maksimum faz dengesizliğinin %40 ve kayıpların yaklaşık %25 oranında azaltılabileceğini göstermiştir. Kullanılan GA ve PSO'nun aynı yada birbirine çok yakın sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. PSO ile yapılan çözümlerin daha hızlı olduğu görülmüştür.

Çok amaçlı optimizasyon problemini kolay bir şekilde çözebilmek için çok amaçlı optimizasyon ağırlıklı toplam yöntemiyle birlikte tek amaçlı optimizasyon problemine dönüştürülmüştür. Tek amaçlı optimizasyondaki ağırlıkların sonuçlara etkisi gözlemlenmiştir. Ağırlıklı toplam yöntemini kullanan kullanıcıların amaç fonksiyonundaki ağırlıkları ön incelemelerle belirlemesi gerekmektedir. Aynı zamanda ağırlıklı toplam yöntemiyle amaç fonksiyonuna yeni amaçlar katarak optimizasyonun ilerletilebileceği görülmüştür.

Sistemdeki BEDS'lerin sayısı değiştirilerek BEDS'lerin sayısının maksimum %VUF değerinin ve kayıpların minimize edilmesindeki etkisi incelenmiştir. Toplam güçlerinin neredeyse eşit olduğu farklı BEDS sayılarıyla oluşturulmuş sistemlerde incelemeler yapılmıştır. İncelemelerde BEDS'lerin bağlantı noktalarının ve sayılarının önemli olduğu görülmüştür. BEDS'lerin yapılacak uygulamaya göre uygun noktalara yerleştirilmisinin önemli olduğu vurgulanmıştır. Faz dengesizliğini önleme ve kayıpları azaltma bakımından BEDS'lerin bağlantı noktalarının bulunması eniyileme problemi olarak tasarlanabilir.

Yapılan çalışmada bir uygulama olarak BEDS'lerin hepsinin birden dağıtım sistem işletimine destek vererek faz dengelemeye katıldıkları varsayılmıştır. Bu durumda bütün BEDS'lerin çalışma konumları yapılan incelemelere dahil edilmiştir.

Başka bir durum incelemesinde ise BEDS'lerin hepsinin sistemde faz dengelemeye katılmadıkları ve dağıtım sistemi işletimini desteklemediği düşünülmüştür. Bu durumda market koşulları altında bütün BEDS'lerin kontrolünün sistem işletilmesine verilemeyeceği düşünülmüştür. Elektrik piyasaları göz önüne alındığında BEDS işletmecilerinin deşarj veya şarj konumundan çıkmak istemeyebileceği varsayılmıştır. Bu iki durum karşılaştırıldığında bütün BEDS'lerin faz dengelemeye katıldığı durumda, sistemdeki kayıpların daha fazla azaltılabildiği görülmüştür. Bu sonuçla

birlikte görülmektedir ki gelecekte yerel elektrik enerji marketlerinin ve BEDS'lerin artmasıyla birlikte dağıtım sistemi işletmecilerinin BEDS sahipleriyle anlaşmalar yaparak yeri geldiğinde BEDS'lerin sistem işletimi için kullanılmasını sağlamaları gerekmektedir.

Önerilen yöntem gelecekte dağıtım sistemlerinde gerçekleşmesi beklenen yerel enerji marketi, talep tarafı yönetimi, üreten tüketicilerin sistemde yer alması ve enerji zinciri uygulamalarınıda içerecek şekilde zaman serisi analizlerine dayalı olarak geliştirilecektir. Böylelikle bütün bir gün içerisinde BEDS'lerin faz dengesizliğine olan etkileri incelenebilecek ve gerçeğe daha yakın bir uygulama yapılacaktır.

BEDS'lerin yerleri ve boyutları kullanıldıkları uygulama açısından çok önemlidir. İlerleyen çalışmalarda BEDS'lerin faz dengesizliği ve kayıplar gibi uygulamalar için eniyi yerlerinin belirlenmesi amacıyla da çalışmalar yapılması hedeflenmiştir.

KAYNAKLAR

[1] **Url-1** <*https://www.iea.org/data-and statistics?country=WORLD&fuel=Energy consumption&indicator=Carbonintensityofindustryenergyconsumption*>, erişim tarihi 13.03.2020.

[2] **Url-2** <*https://www.teias.gov.tr/tr-TR/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri*>, erişim tarihi 26.05.2020.

[3] **Url-3** <*https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/EIGM-Raporlari*>, erişim tarihi 26.05. 2020.

[4] **Url-4** <*https://www.europarl.europa.eu/news/en/press-room/20180614IPR05810/energy-new-target-of-32-from-renewables-by-2030-agreed-by-meps-and-ministers* >, erişim tarihi 28.05.2020.

[5] **Putrus, G. A., Suwanapingkarl, P., Johnston, D., Bentley, E. C., and Narayana, M.** (2009). Impact of electric vehicles on power distribution networks. *In Proceedings of 5th IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference,* September 7-10.

[6] **Das, C. K., Bass, O., Kothapalli, G., Mahmoud, T. S., and Habibi, D.** (2018). Overview of energy storage systems in distribution networks: Placement, sizing, operation, and power quality, *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 91,* 1205–1230.

[7] **Mahlia, T. M. I., Saktisahdan, T. J., Jannifar, A., Hasan, M. H., and Matseelar, H. S. C.** (2014). A review of available methods and development on energy storage; Technology update, *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 33,* 532–545.

[8] **Divya, K. C. and Østergaard, J.** (2009). Battery energy storage technology for power systems-An overview, *Electric Power Systems Research, 79* (4), 511–520.

[9] **Duerr, S., Ababei, C., and Ionel, D. M.** (2017). Load balancing with energy storage systems based on co-simulation of multiple smart buildings and distribution networks. *In Proceedings of 2017 6th International Conference on Renewable Energy Research and Applications,* November 5-8.

[10] **Wade, N. S., Taylor, P. C., Lang, P. D., and Jones, P. R.** (2010). Evaluating the benefits of an electrical energy storage system in a future smart grid, *Energy Policy, 38* (11), 7180-7188.

[11] **Chan, H. L. and Sutanto, D.** (2000). A new battery model for use with battery energy storage systems and electric vehicles power systems, *2000 IEEE Power Engineering Society,* January 23-27.

[12] **Wen, S., Lan, H., Fu, Q., Yu, D. C., and Zhang, L.** (2015). Economic allocation for energy storage system considering wind power distribution, *IEEE Transactions on Power Systems*, *30* (2), 644–652.

[13] **Nick, M., Cherkaoui, R., and Paolone, M.** (2018). Optimal Planning of Distributed Energy Storage Systems in Active Distribution Networks Embedding Grid Reconfiguration, *IEEE Transactions on Power Systems*, *33* (2), 1577–1590.

[14] **Zeraati, M., Hamedani Golshan, M. E., and Guerrero, J. M.** (2018). Distributed Control of Battery Energy Storage Systems for Voltage Regulation in Distribution Networks with High PV Penetration, *IEEE Transactions on Smart Grid*, *9* (4), 3582–3593.

[15] **Bhaumik, D., Crommelin, D., and Zwart, B.** (2016). A computational method for optimizing storage placement to maximize power network reliability, *Proceedings - Winter Simulation Conference*, *0* (2013), 883–894.

[16] **Farrokhifar, M., Grillo, S., and Tironi, E.** (2013). Loss minimization in medium voltage distribution grids by optimal management of energy storage devices, *2013 IEEE Grenoble Conference PowerTech, POWERTECH 2013*, 1–5.

[17] **Celli, G., Mocci, S., Pilo, F., and Loddo, M.** (2009). Optimal integration of energy storage in distribution networks, *2009 IEEE Bucharest PowerTech: Innovative Ideas Toward the Electrical Grid of the Future*, 1–7.

[18] **Brekken, T. K. A. *et al.*** (2011). Wind Power Applications, *2* (1), 69–77.

[19] **Yang, Y., Li, H., Aichhorn, A., Zheng, J., and Greenleaf, M.** (2014). Sizing strategy of distributed battery storage system with high penetration of photovoltaic for voltage regulation and peak load shaving, *IEEE Transactions on Smart Grid*, *5* (2), 982–991.

[20] **Baran, M. E. and Wu, F. F.** (1989). Network reconfiguration in distribution systems for loss reduction and load balancing, *IEEE Power Engineering Review*, *9* (4), 101–102.

[21] **Vuluvala, M. R. and Saini, L. M.** (2018). Load balancing of electrical power distribution system: An overview, *Proceedings of 2018 IEEE International Conference on Power, Instrumentation, Control and Computing, PICC 2018*, 1–5.

[22] **Zhu, J., Chow, M. Y., and Zhang, F.** (1998). Phase balancing using mixed-integer programming, *IEEE Transactions on Power Systems*, *13* (4), 1487–1492.

[23] **Helal, S. A., Ahmed, M. H., Salama, M. M. A., and Shaaban, M. F.** (2018). Optimal Scheduling of Battery Energy Storage Systems in Unbalanced Distribution Networks, *Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering*, May 1–4.

[24] **Sun, S., Liang, B., Dong, M., and Taylor, J. A.** (2016). Phase balancing using energy storage in power grids under uncertainty, *IEEE Transactions on Power Systems*, *31* (5), 3891–3903.

[25] **Tezde, E. İ., Okumuş, H. İ.,** (2018). Batarya Modelleri ve Şarj Durumu (SoC) Belirleme, *EMO Bilimsel Dergi*, *8* (1), 21-25.

[26] **Cun, J. P., Fiorina, J. N., Fraisse, M., and Mabboux, H.** (1996). Experience of a UPS company in advanced battery monitoring, *International Telecommunications Energy Conference*, (pp.646–653). Boston, MA, USA, October 6-10.

[27] **Johnson, V. H.** (2002). Battery performance models in ADVISOR, *Journal of Power Sources*, *110* (2), 321–329.

[28] **Chen, M. and Rincón-Mora, G. A.** (2006). Accurate electrical battery model capable of predicting runtime and I-V performance, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, *21* (2), 504–511.

[29] **Z. M. Salameh, M. A. C. and W. A. L.** (1992). A mathematical model for lead-acid batteries, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, *7* (1), 93–98.

[30] **Liu, X., Li, W., and Zhou, A.** (2018). PNGV Equivalent Circuit Model and SOC Estimation Algorithm for Lithium Battery Pack Adopted in AGV Vehicle, *IEEE Access*, *6* 23639–23647.

[31] **Buller, S., Thele, M., De Doncker, R. W. A. A., and Karden, E.** (2005). Impedance-based simulation models of supercapacitors and li-ion batteries for power electronic applications, *IEEE Transactions on Industry Applications*, *41* (3), 742–747.

[32] **Koller, M., Borsche, T., Ulbig, A., and Andersson, G.** (2015). Review of grid applications with the Zurich 1 MW battery energy storage system, *Electric Power Systems Research*, *120* 128–135.

[33] **Teleke, S., Baran, M. E., Bhattacharya, S., and Huang, A. Q.** (2010). Rule-based control of battery energy storage for dispatching intermittent renewable sources, *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, *1* (3), 117–124.

[34] **Farhadi, M. and Mohammed, O.** (2016). Energy Storage Technologies for High-Power Applications, *IEEE Transactions on Industry Applications*, *52* (3), 1953–1962.

[35] **Hidalgo-Leon, R. *et al.*** (2018). A survey of battery energy storage system (BESS), applications and environmental impacts in power systems, *IEEE 2nd Ecuador Technical Chapters Meeting (ETCM)*, (pp.1-6). Salinas, January 1–6.

[36] **Cicio, D.** (2017). *EssPro™ - Battery energy storage*, 1–25, April 6.

[37] **Hung, D. Q., Mithulananthan, N., and Bansal, R. C.** (2014). Integration of PV and BES units in commercial distribution systems considering energy loss and voltage stability, *Applied Energy*, *113* 1162–1170.

[38] **Arai, J., Iba, K., Funabashi, T., Nakanishi, Y., Koyanagi, K., and Yokoyama, Y.** (2008). Power electronics and its applications to renewable energy in Japan, *IEEE Circuits and Systems Magazine*, *8* (3), 52–66.

[39] **Oudalov, A., Cherkaoui, R., and Beguin, A.** (2007). Sizing and optimal operation of battery energy storage system for peak shaving application, *IEEE Lausanne POWERTECH*, (pp.621-625). Switzerland, July 1-5.

[40] **Allègre, A. L., Bouscayrol, A., Delarue, P., Barrade, P., Chattot, E., and El-Fassi, S.** (2010). Energy storage system with supercapacitor for an innovative subway, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, *57* (12), 4001–4012.

[41] **Lukic, S. M., Cao, J., Bansal, R. C., Rodriguez, F., and Emadi, A.** (2008). Energy storage systems for automotive applications, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, *55* (6), 2258–2267.

[42] **Jouanne, A. Von, Member, S., and Banerjee, B. Ben** (2001). Assessment of Voltage Unbalance, *16* (4), 782–790.

[43] **FORTESCUE, C. L.** (1918). Method of symmetrical co-ordinates applied to the solution of polyphase networks, *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers*, *37* 1027–1140.

[44] **Büyüksaraç, M. H.** (2007). Simetrik Bileşenler, *EMO Teknik*, 27–28.

[45] **NEMA (2009).** *Motors and Generators* (MG 1-2009). Alınan yer https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/005/nema.mg-1.2009.pdf

[46] **Markiewicz, H. (Cooper D. A. and Klajn, A. (Wroclaw U. of T.** (2004). Voltage Disturbances Standard EN 50160, *Power quality Application Guide*, *21* 215–224.

[47] **Url-5** <*http://www.emo.org.tr/mevzuat/mevzuat_detay.php?kod=70*>, erişim tarihi 24.04.2020.

[48] **Arghavani, H. and Peyravi, M.** (2017). Unbalanced current-based tariff, *CIRED - Open Access Proceedings Journal*, *2017* (1), 883–887.

[49] **Baran, M. E. and Wu, F. F.** (1989). Network reconfiguration in distribution systems for loss reduction and load balancing, *IEEE Transactions on Power Delivery*, *4* (2), 1401–1407.

[50] **Kalyanmoy, D.** (2001), *Multi-objective optimization using evolutionary algorithms*, New York: Wiley.

[51] **Satar, B.** (2015). *Çok Amaçlı Optimizasyon Temelli Genel Atama Problemlerinin Metasezgisel Yöntemlerle Çözümü*. (Yüksek lisans tezi). Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

[52] **Kennedy, J. and Eberhart, R.** (1995). Particle Swarm Optimization, *Proceedings of ICNN'95-International Conference on Neural Networks*, (pp.1942-1948). Australia: Perth, November 27-30.

[53] **Holland, J.** (1992)., *Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control and Artificial Intelligence*,. Cambridge: The MIT Press.

[54] **Mori, M. and Tseng, C. C.** (1997). A genetic algorithm for multi-mode resource constrained project scheduling problem, *European Journal of Operational Research*, *100* (1), 134–141.

[55] **Url-6** <*https://site.ieee.org/pes-testfeeders/resources/*>, erişim tarihi 13.04.2020.

EKLER

EK A: Test Sistemi Verileri

EK A

IEEE 34 baralı test sistem bilgilerinin tamamı [55] numaralı kaynakta bulunmaktadır.

Çizelge A.1 : IEEE 34 bara test sisteminde bulunan yükler

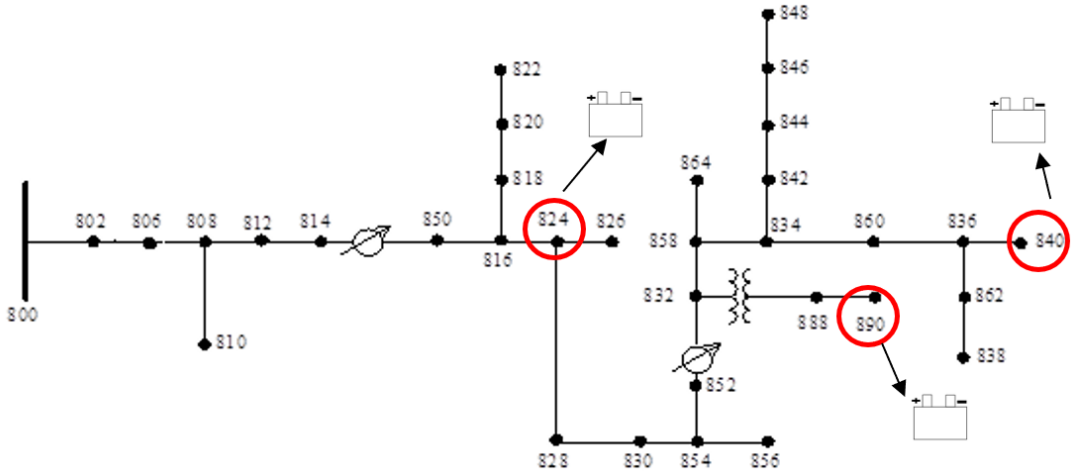
		Sistemdeki Yükler					
		A	A	B	B	C	C
Bara Numarası	Yüklerin Modelleri	kW	kVAr	kW	kVAr	kW	kVAr
860	Y-PQ	20	16	20	16	20	16
840	Y-I	9	7	9	7	9	7
844	Y-Z	135	105	135	105	135	105
848	D-PQ	20	16	20	16	20	16
890	D-I	150	75	150	75	150	75
830	D-Z	10	5	10	5	25	10
802-806	Y-PQ	0	0	30	15	25	14
808-810	Y-I	0	0	16	8	0	0
818-820	Y-Z	34	17	0	0	0	0
820-822	Y-PQ	135	70	0	0	0	0
816-824	D-I	0	0	5	2	0	0
824-826	Y-I	0	0	40	20	0	0
824-828	Y-PQ	0	0	0	0	4	2
828-830	Y-PQ	7	3	0	0	0	0
854-856	Y-PQ	0	0	4	2	0	0
832-858	D-Z	7	3	2	1	6	3
858-864	Y-PQ	2	1	0	0	0	0
858-834	D-PQ	4	2	15	8	13	7
834-860	D-Z	16	8	20	10	110	55
860-836	D-PQ	30	15	10	6	42	22
836-840	D-I	18	9	22	11	0	0
862-838	Y-PQ	0	0	28	14	0	0
842-844	Y-PQ	9	5	0	0	0	0
844-846	Y-PQ	0	0	25	12	20	11
846-848	Y-PQ	0	0	23	11	0	0

Çizelge A.2 : IEEE 34 bara test sisteminin bara gerilimleri ve %VUF değerleri

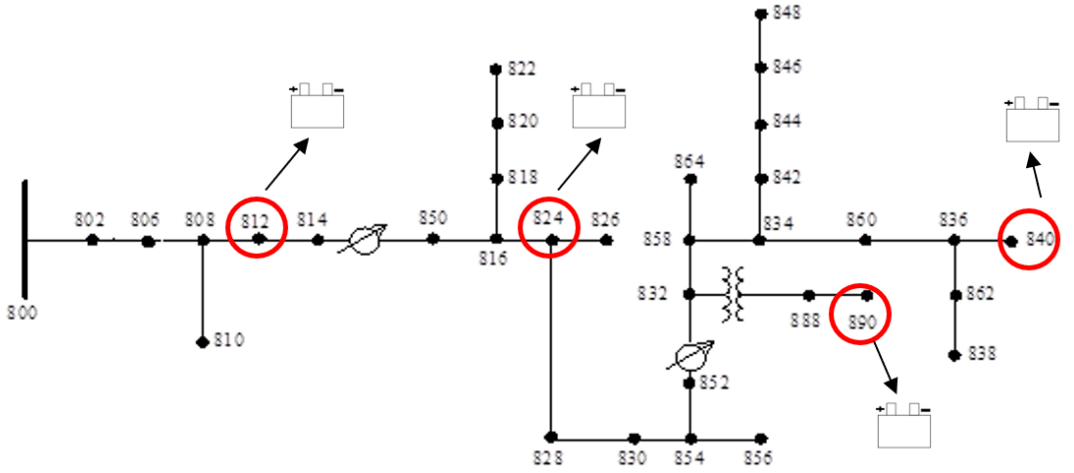
	Gerilimler (pu)			
Bara Numarası	A	B	C	%VUF
800	1,05	1,05	1,05	0,0001464
802	1,0475	1,0484	1,0484	0,02331
806	1,0458	1,0474	1,0474	0,04
808	1,0139	1,0298	1,0289	0,3797
810	0	1,0297	0	0
812	0,97684	1,0105	1,007	0,819
814	0,94741	0,99519	0,98954	1,186
814R	1,0182	1,0261	1,0203	0,2882
850	1,0182	1,0261	1,0203	0,2882
816	1,0178	1,0259	1,0201	0,2866
818	1,0169	0	0	0
824	1,0088	1,0165	1,0117	0,312
820	0,99321	0	0	0
822	0,99017	0	0	0
826	0	1,0163	0	0
828	1,0081	1,0159	1,011	0,315
830	0,99028	0,9991	0,99396	0,4085
854	0,98985	0,99869	0,99355	0,411
832	1,0371	1,0357	1,0362	0,5361
858	1,0347	1,0334	1,034	0,548
834	1,0321	1,0307	1,0315	0,5613
860	1,0316	1,0303	1,0311	0,563
842	1,032	1,0306	1,0315	0,5611
836	1,0314	1,0299	1,031	0,5601
840	1,0314	1,0299	1,031	0,56
862	1,0314	1,0299	1,031	0,5599
844	1,0318	1,0303	1,0312	0,5605
846	1,0321	1,0303	1,0315	0,5567
848	1,0321	1,0303	1,0316	0,5561
852R	1,0371	1,0357	1,0362	0,5361
888	1,0007	0,99957	1,0001	0,5433
856	0	0,9986	0	0
852	0,95926	0,96924	0,96401	0,6145
864	1,0347	0	0	0
838	0	1,0297	0	0
890	0,91778	0,9248	0,91784	0,9417

Çizelge A.3 : IEEE 34 bara test sisteminde yüklerin değiştirildiği durum için bara gerilimleri ve %VUF değerleri

	Gerilimler (pu)			
Bara Numarası	A	B	C	%VUF
800	1,05	1,05	1,05	0,0001994
802	1,0467	1,0479	1,0478	0,03464
806	1,0445	1,0465	1,0463	0,05877
808	1,0031	1,0217	1,0197	0,5412
810	0	1,0215	0	0
812	0,95486	0,99401	0,98831	1,17
814	0,91653	0,97219	0,96344	1.704
814R	0,9849	1,0023	0,99334	0,8183
850	0,98489	1,0023	0,99333	0,8184
816	0,98438	1,002	0,99296	0,823
818	0,98343	0	0	0
824	0,97188	0,98964	0,98116	0,9553
820	0,95907	0	0	0
822	0,95592	0	0	0
826	0	0,98925	0	0
828	0,97086	0,98879	0,98016	0,9703
830	0,94614	0,96809	0,95603	1,342
854	0,94557	0,96759	0,95546	1,351
832	0,97812	0,99616	0,98377	1,736
858	0,97456	0,99312	0,98027	1,801
834	0,9705	0,98964	0,97638	1,874
860	0,96972	0,98903	0,97569	1,887
842	0,97045	0,98958	0,97633	1,874
836	0,96931	0,9885	0,97537	1,885
840	0,96925	0,98844	0,97531	1,884
862	0,96931	0,98849	0,97537	1,884
844	0,97024	0,98925	0,97611	1,872
846	0,97047	0,98919	0,97636	1,866
848	0,9705	0,98921	0,9764	1,866
852R	0,97813	0,99617	0,98378	1,736
888	0,94153	0,95983	0,94797	1,758
856	0	0,96749	0	0
852	0,90485	0,93226	0,91531	1,968
864	0,97455	0	0	0
838	0	0,98832	0	0
890	0,8588	0,88452	0,86608	2,299



Şekil A.1 : Sistemde 3 adet BEDS varken sistemin tek hat şeması



Şekil A.2 : Sistemde 4 adet BEDS varken sistemin tek hat şeması

Çizelge A.4 : Sistemde kullanılan BEDS'lerin aktif güçleri

Bara Numarası	3 adet BEDS varken BEDS'lerin Aktif Güçleri (kW)			4 adet BEDS varken BEDS'lerin Aktif Güçleri (kW)		
	A	B	C	A	B	C
840	50	50	50	40	40	40
824	50	50	50	40	40	40
890	50	50	50	40	40	40
812	-	-	-	40	40	40

ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad **: Ali ÖZAN**

Doğum Tarihi ve Yeri **: 19.03.1994 Üsküdar**

E-posta **: ozana@itu.edu.tr**

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** **:** 2017, İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM:

- İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, Araştırma Görevlisi (Nisan 2018 - Halen)

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR:

- **Özan A., Bağrıyanık M.**," Elektrik Dağıtım Sistemlerinde Enerji Depolama Sistemlerinin Kullanımının Faz Dengesizliği Üzerindeki Etkileri", *EEMKON*, 14-16 Kasım, 2019 İstanbul, Türkiye.
- **Özan A., Bağrıyanık M.**, "Enerji Depolama Sistemlerinin Kullanımı ile Elektrik Dağıtım Sistemlerinde Dengesiz Çalışma Etkilerinin Azaltılması", *Cigre*, 2018 Bursa, Türkiye.