

Otonom Mikro Şebekelerin Meta Sezgisel Algoritmalar İle Boyutlandırma Optimizasyonu

İpek Çetinbaş

**DOKTORA TEZİ**

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Ocak 2020

Sizing Optimization of Autonomous Micro Grids Using Meta Heuristic Algorithms

İpek Çetinbaş

**DOCTORAL DISSERTATION**

Department of Electrical and Electronics Engineering

January 2020

# Otonom Mikro Şebekelerin Meta Sezgisel Algoritmalar İle Boyutlandırma Optimizasyonu

İpek Çetinbaş

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca  
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı  
Elektronik Bilim Dalında  
DOKTORA TEZİ  
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Doç. Dr. Bünyamin Tamyürek

Ocak 2020

## ONAY

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora öğrencisi İpek Çetinbaş'ın DOKTORA tezi olarak hazırladığı "Otonom Mikro şebekelerin Meta Sezgisel Algoritmalar İle Boyutlandırma Optimizasyonu" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek oybirliği ile kabul edilmiştir.

**Danışman** : Doç. Dr. Bünyamin Tamyürek

**İkinci Danışman** : -

**Doktora Tez Savunma Jürisi:**

**Üye** : Doç. Dr. Bünyamin Tamyürek

**Üye** : Prof. Dr. Hasan Hüseyin Erkaya

**Üye** : Doç. Dr. Mehmet Demirtaş

**Üye** : Prof. Dr. Nihat Öztürk

**Üye** : Doç. Dr. Sinan Kıvrak

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..... tarih ve  
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Hürriyet ERşAHAN  
Enstitü Müdürü

## ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Doç. Dr. Bünyamin Tamyürek danışmanlığında hazırlamış olduğum “Otonom Mikro Şebekelerin Meta Sezgisel Algoritmalar İle Boyutlandırma Optimizasyonu” başlıklı DOKTORA tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 06/01/2020

İpek Çetinbaş

## ÖZET

Bu çalışmada, beş farklı meta sezgisel algoritma kullanılarak otonom mikro şebekelerin boyutlandırma optimizasyonu yapılmıştır. Boyutlandırma optimizasyonunun amacı, yükün talep ettiği elektrik enerjisini minimum maliyetle sürekli ve güvenilir bir şekilde yüke sağlanmasıdır. Ayrıca, önerilen mikro şebeke yapısı için en verimli ve optimal enerji yönetimi stratejisini uygulamak amacıyla karşılaştırmalı bir analiz yapılmıştır. Böylece, dağıtık üretim kaynaklarından optimum şekilde yararlanılarak şebekeden bağımsız, ada modlu çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu ada modlu mikro şebeke modeli fotovoltaik paneller, enerji depolama birimi olarak kullanılan bataryalar, dizel jeneratör ve yük bileşenlerinden oluşmaktadır. Mikro şebekeyi bileşenlerin optimum kapasitelerini belirlediğimiz optimal boyutlandırma için parçacık sürü optimizasyonu algoritması, ateş böceği algoritması, gri kurt optimizasyon algoritması, balina optimizasyon algoritması ve salp sürü algoritmasını içeren meta sezgisel algoritmalar seçilmiş ve başarıyla kullanılmıştır. Seçilen boyutlandırma algoritmalarını çalıştırmak için MATLAB'da bir model geliştirilmiştir. Enerji optimizasyonu, güvenilirlik ve ekonomik değerlendirme kriterlerini sağlayacak bir amaç fonksiyonu doğrultusunda, güç kaynağı kaybının olasılığı (LPSP) ve elektrik enerjisinin maliyeti (COE) göz önünde bulundurularak gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, optimum boyutta bileşenlerle tasarım özelliklerini karşılayan otonom bir mikro şebeke tasarlanmıştır. Dahası, algoritmaların problemin çözümünde sergiledikleri performanslar bireysel olarak ortaya konulmuş, birbirleriyle karşılaştırılmış, yorumlanmış ve farklı algoritmaların tasarlanan sistemdeki boyutlandırma optimizasyonlarının değerlendirilmesine yönelik öneriler sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Mikro şebeke, Boyutlandırma optimizasyonu, Enerji yönetimi, Parçacık sürü optimizasyonu, Ateş böceği algoritması, Gri kurt optimizasyon algoritması, Balina optimizasyon algoritması, Salp sürü algoritması.

## SUMMARY

In this study, sizing optimization of autonomous microgrids has been made using five different meta-heuristic algorithms. The objective of the sizing optimization is to provide the electrical energy demanded by the load continuously and reliably with the minimum cost. In addition, a comparative analysis has been realized in order to implement the most efficient and optimal energy management strategy for the proposed microgrid structure. By this way, the optimum use of the distributed production resources is realized in island mode operation of the micro grid. This island mode microgrid model consists of photovoltaic panels, batteries to be used as energy storage unit, diesel generator, and load components. For optimal sizing where we determine the optimum capacities of the microgrid components, five meta-heuristic algorithms including particle swarm optimization algorithm, firefly algorithm, gray wolf optimization algorithm, whale optimization algorithm, and salp swarm algorithm are selected and used successfully. A model was developed to run the selected sizing algorithms in MATLAB. Energy optimization is realized by considering the loss of power supply probability (LPSP) and the cost of energy (COE) in line with a purpose function that ensures the reliability and economic evaluation criteria. Finally, an autonomous microgrid that satisfy the design specifications with optimally sized components has been designed. Moreover, the performances of the algorithms in the solution of the problem are presented individually, compared to each other, interpreted, and suggestions for evaluating the sizing optimizations of different algorithms in the designed system are presented.

**Keywords:** Micro grid, Sizing optimization, Energy management, Particle swarm optimization, Firefly algorithm, Gray wolf optimization algorithm, Whale optimization algorithm, Salp swarm algorithm.

## TEŞEKKÜR

Tez çalıŐmalarım sırasında desteklerini esirgemeyen Sayın danıŐmanım Doç. Dr. Bũnyamin Tamyũrek'e, Sayın hocam Doç. Dr. Mehmet Demirtaş'a ve eğitim hayatım boyunca hep yanımda olan çok değerli aileme teŐekkũrlerimi sunarım.

Tez çalıŐmalarım sırasında sağladıkları katkılardan dolayı Gazi Őniversitesi Teknopark yũnetimine ve teknik personele teŐekkũr ederim.



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

<b>ÖZET</b> .....	vi
<b>SUMMARY</b> .....	vii
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	viii
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	ix
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	xii
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	xiii
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	xiv
<b>1. GİRİŞ VE AMAÇ</b> .....	1
<b>2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI</b> .....	4
<b>3. MİKRO ŞEBEKELER</b> .....	10
3.1. Mikro Şebeke Kavramı .....	10
3.2. Mikro Şebekelerin Temel Yapısı ve Sınıflandırılması .....	12
3.2.1. Güç sistemine göre mikro şebekeler .....	13
3.2.1.1. <u>AA mikro şebeke sistemleri</u> .....	13
3.2.1.2. <u>DA mikro şebeke sistemleri</u> .....	15
3.2.1.3. <u>Hibrit AA/DA mikro şebeke sistemleri</u> .....	16
3.2.2. Konuma göre mikro şebekeler .....	17
3.2.2.1. <u>Kentsel mikro şebekeler</u> .....	18
3.2.2.2. <u>Kırsal/uzak bölge mikro şebekeler</u> .....	18
3.3. Mikro Şebekelerin Klasik Şebekeler İle Karşılaştırılması .....	18
<b>4. MİKRO ŞEBEKELERDE OPTİMAL TASARIM VE META SEZGİSEL ALGORİTMALAR İLE BOYUTLANDIRMA OPTİMİZASYONU</b> .....	20
4.1. Mikro Şebekelerde Optimal tasarım .....	20
4.1.1. Hibrit yenilenebilir enerji sistemlerinin sınıflandırılması .....	21
4.1.2. Hibrit yenilenebilir enerji sistemlerinin değerlendirme kriterlerinin belirlenmesi .....	22
4.1.3. Hibrit yenilenebilir enerji sistemlerinin boyutlandırma metotlarının seçimi ..	22
4.2. Mikro şebekelerde meta sezgisel algoritmalar ile boyutlandırma optimizasyonu ..	23
4.2.1. <u>Parçacık sürü optimizasyonu algoritması</u> .....	25

4.2.2. <u>Ateş böceği algoritması</u> .....	26
4.2.3. <u>Gri kurt optimizasyon algoritması</u> .....	28
4.2.4. <u>Balina optimizasyon algoritması</u> .....	31
4.2.5. <u>Salp sürü algoritması</u> .....	33
<b>5. YÖNTEM</b> .....	<b>36</b>
5.1. Önerilen Ada Modlu Bir Mikro Şebekenin Tasarımı .....	36
5.2. Mikro Şebekenin Bileşenleri .....	37
5.2.1. FV güç sistemi.....	37
5.2.2. Batarya enerji depolama birimi .....	41
5.2.3. Dizel jeneratör .....	42
5.2.4. Yük .....	43
5.2.5. Evirici .....	45
5.3. Mikro Şebekenin Enerji Yönetim Stratejisi.....	46
5.4. Ekonomik ve Güvenilirlik Değerlendirme Kriterleri İle Amaç Fonksiyonu .....	49
5.4.1. Ekonomik değerlendirme kriteri .....	49
5.4.2. Güvenilirlik değerlendirme kriteri .....	50
5.4.3. Amaç fonksiyonu .....	50
<b>6. BULGULAR VE TARTIŞMA</b> .....	<b>52</b>
6.1. Boyutlandırma Optimizasyonunun Sonuçları.....	54
6.2. Sistem Maliyetinin Optimizasyon Sonuçları .....	58
6.3. Enerji Üretiminin Kaynaklara Göre Dağılımı.....	59
6.4. Amaç Fonksiyonunun Değişimi Ve İstatistiksel Sonuçlar .....	60
6.5. Zaman Kullanımı Ve İstatistiksel Sonuçlar .....	62
6.6. Yakınsama Grafikleri.....	64
6.7. COE ve LPSP Çıktıları .....	68
6.8. FV Gücün Değişimi .....	72
6.9. Batarya Kapasitesinin Değişimi.....	75
6.10. Dizel Jeneratör Gücünün Değişimi .....	78
6.12. Algoritmaların Değerlendirilmesi Ve Karşılaştırılması.....	81
<b>7. SONUÇ VE ÖNERİLER</b> .....	<b>84</b>
<b>KAYNAKLAR DİZİNİ</b> .....	<b>86</b>

**ÖZGEÇMİŞ** ..... 90

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Mikro şebekelerin sınıflandırılması.....	13
3.2. Bir AA mikro şebekenin genel yapısı .....	14
3.3. Bir DA mikro şebekenin genel yapısı .....	16
3.4. Bir hibrit AA/DA mikro şebekenin genel yapısı.....	17
4.1. Mikro şebekelerde optimal tasarım süreci.....	20
4.2. Hibrit yenilenebilir enerji sistemlerinin sınıflandırılması .....	21
4.3. Hibrit yenilenebilir enerji sistemlerinin değerlendirme kriterleri.....	22
4.4. Hibrit yenilenebilir enerji sistemlerinin boyutlandırma metotları .....	23
4.5. Optimizasyon metotları içinde meta sezgisel algoritmaların yeri .....	24
4.6. Gri kurtlarda hiyerarşik yapı.....	29
4.7. Kambur balinaların avlanma yöntemleri .....	31
4.8. Salp sürülerinin davranış şekilleri .....	34
5.1. Önerilen ada modlu mikro şebeke sistemi.....	36
5.2. Işınım verileri .....	38
5.3. Sıcaklık verileri .....	40
5.4. Yük verisi .....	44
5.5. Enerji yönetimi stratejisi.....	47
6.1. Bileşenlerin kapasitelerinin değişiminin COE ve LPSP'ye etkisi.....	56
6.2. Enerji üretiminin kaynaklara göre dağılımı.....	59
6.3. Deneme çıktılarının minimum, maksimum ve ortalamasının incelenmesi .....	61
6.4. Deneme çıktılarının minimum, maksimum ve ortalamasının incelenmesi .....	64
6.5. Yakınsama grafiklerinin iterasyon sayısına göre değişimi .....	64
6.6. Pareto optimal çözüm .....	69
6.7. Algoritmaların COE ve LPSP çıktıları .....	69
6.8. FV panel sayısının iterasyon sayısına göre değişimi.....	73
6.9. Otonom çalışma gün sayısının iterasyon sayısına göre değişimi .....	76
6.10. Dizel jeneratör sayısının iterasyon sayısına göre değişimi.....	79

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<b><u>Cizelge</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
5.1. FV güç sisteminin teknik ve ekonomik özellikleri.....	38
5.2. Batarya enerji depolama biriminin teknik ve ekonomik özellikleri .....	42
5.3. Dizel jeneratörün teknik ve ekonomik özellikleri .....	43
5.4. Eviricinin teknik ve ekonomik özellikleri .....	45
6.1. Algoritmaların bireysel giriş parametreleri, ortak parametreler ve arama uzayı.....	53
6.5. Amaç fonksiyonunun değişimleri ve istatistiksel sonuçlar .....	60
6.6. Zaman kullanımı.....	63
6.7. Algoritmaların karşılaştırılması.....	82
6.8. Algoritmaların avantaj ve dezavantajlarının karşılaştırılması .....	83

**SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ****Kısaltmalar****Açıklama**

FV	Fotovoltaik
DA	Doğru akım
AA	Alternatif akım
PSOA	Parçacık sürü optimizasyonu algoritması
ABA	Ateş böceği algoritması
GKOA	Gri kurt optimizasyon algoritması
BOA	Balina optimizasyon algoritması
SSA	Salp sürü algoritması
COE	Enerjinin maliyeti
LPSP	Güç kaynağı kaybının olasılığı

## 1. GİRİŞ VE AMAÇ

Günlük hayatın her anında kullanılması nedeni ile elektrik enerjisi artık insanlığın vazgeçilmez bir enerji kaynağı olarak değerlendirilmektedir. Günlük kullanımın yanında sanayileşmeye yönelik büyüme ihtiyacının elektrik enerjisi kullanımını arttırması, sağlık, savunma, eğitim, barınma, güvenlik ve ulaşım gibi önemli birçok özel ve kamusal alanda elektrik enerjisinin tüketiminin ciddi oranlarda artması gibi nedenlerle elektrik enerjisinin yönetimi ve aynı zamanda kontrollü tüketimi önemli bir inceleme konusu olmuştur. Günümüzde kullanıcıların enerji tüketim oranları, enerji üretimi ile aynı çizgide seyretmemektedir. Bu sorunun temelinde birincil derecede enerji sağlayıcısı konumundaki fosil yakıtların doğadaki oluşum sürecinin hızına karşılık bu kaynakların kullanım hızının örtüşmemesi yatmaktadır. Fosil yakıtların üretim sürecindeki kullanımının yoğunluğu; hava kirliliği, küresel ısınma, iklimsel ve çevresel sorunlar gibi kişisel ve küresel bazdaki riskleri de beraberinde getirmektedir. Fosil yakıtların bu sorunlarını bertaraf edecek ve alternatif oluşturacak yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı önem kazanmıştır. Farklı alternatif enerji kaynaklarının birlikte kullanılması, enerjinin sürekliliğinin sağlanması ve enerji maliyetlerinin daha ekonomik seviyelere düşürülmesi enerji yönetimi uygulamalarının başlıca yönelimleridir.

Enerji üretim sistemlerinin merkezi bir noktada bulunması, üretim ve tüketim noktaları arasındaki mesafenin artması gibi problemler de enerjinin üretimi ve iletimi sırasında önemli kayıpların oluşmasına ve kontrol sorunlarına neden olmaktadır. Belirtilen tüm bu sorunlara mikro şebekeler ile çözümler aranmaktadır. Farklı enerji kaynaklarının birlikte kullanımı, dağıtık güç sistemlerinin birbiriyle ve yenilenebilir kaynaklarla kullanımı, istenildiğinde şebekeden bağımsız çalışabilme stratejilerine sahip olmaları, enerji depolama ve yedekleme sistemlerinin bu kaynaklara entegrasyonu mikro şebeke uygulamalarında karşımıza çıkan ve çözümünde önemli matematiksel modelleme ve analiz gerektiren konular olarak değerlendirilmektedir.

Örneğin, enerji depolama sistemleri ile birlikte çalışacak yenilenebilir enerji kaynaklarının ve dizel jeneratör gibi anında güç sağlayabilecek yedekleme sistemlerinin

kullanımında tüketicinin anlık güç tüketim profili ve yüklere sağlanacak enerjinin sürekliliğine yönelik kriterler göz önünde bulundurulmalıdır.

Benzer şekilde, şebekeden bağımsız çalışabilecek bir sistemde farklı enerji kaynaklarını birlikte ve eşgüdümlü kullanarak sürekli olarak tüketicinin değişken anlık güç talebini karşılayabilmek ve tüketicinin kullanımına en uygun sistemin boyutlandırmasını sağlamak enerji optimizasyonu olarak değerlendirilen yeni bir çalışma alanıdır. Enerji optimizasyonu ve boyutlandırmadaki esas amaç enerji üretim ve depolama kaynaklarının ve varsa yedek enerji sistemlerinin en uygun maliyetle ve kesintisiz olarak belirlenen yük gurubuna enerji sağlamasıdır.

Mikro şebekelerin boyutlandırma optimizasyonu için göz önünde bulundurulacak kısıtların ve matematiksel ifadelerin değerlendirilmesinde birçok farklı algoritma kullanılmaktadır. Buradaki amaç ise en uygun optimizasyon algoritması ile en verimli ve sürekliliği olan sistemin tasarımını gerçekleştirmek, değişken yük ve meteorolojik ortam koşullarında enerji kaynaklarının en hızlı tepkiyi verecek şekilde yüke yönlendirilmesini sağlamaktır. Tasarlanacak sistemlerde güneş veya rüzgâr gibi alternatif enerji kaynaklarının kullanımı, bu kaynaklardan üretilen elektrik enerjisinin meteorolojik verilere göre değişkenlik göstermesi sebebiyle enerjinin sürekliliğinin ve maliyetinin hesaplanmasında bu meteorolojik verilerinde göz önünde bulundurulmasını gerektirmektedir.

Bu çalışmada, ada modlu çalışan bir mikro şebekenin boyutlandırma optimizasyonunun gerçekleştirilmesi için bir model geliştirilmesi ve tasarlanması amaçlanmıştır. Tasarlanan optimizasyon modelinde güvenilirlik ve ekonomik değerlendirme kriterlerini sağlayacak bir amaç fonksiyonu doğrultusunda, COE (cost of energy) ve LPSP (loss of power supply probability)'nin göz önünde bulundurulduğu bir yöntem uygulanmıştır. Tasarlanan modelin test edilmesi amacıyla seçilen beş meta sezgisel algoritma ile enerji optimizasyonu gerçekleştirilmiştir.

Fotovoltaik (FV) güç sistemi, enerji depolama birimi olarak kullanılacak bataryalar, anlık yedek enerji kaynağı olarak kullanılacak dizel jeneratör ve yükten oluşan mikro şebekede kullanılacak bileşenlerin en uygun kapasitelerinin belirlenmesi için güvenilirlik ve ekonomik değerlendirme kriterleriyle bir problem tanımlanmış ve tanımlanan bu çok amaçlı



probleme beş meta sezgisel optimizasyon algoritmasıyla çözüm aranmıştır. İlk aşamada konu ile ilgili literatür taraması yapılmış ve diğer araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar incelenmiş ve gelinen noktadaki mevcut durum ortaya konulmuştur. Ardından problemin detayları tanımlanmış ve önerilen enerji yönetimi yapısı sunulmuştur. Sonrasında oluşturulan ve tasarımı yapılan bu yapı üzerinde belirlenen meta sezgisel algoritmalar ile mikro şebekenin boyutlandırma problemine çözüm üretilmiştir.

Sonuç olarak ise bu tez çalışmasının esas amacı olan mikro şebekenin boyutlandırma optimizasyonu değerlendirilmiş ve bu optimizasyonda araç olarak kullanılan meta sezgisel algoritmaların boyutlandırma optimizasyonlarına uygulandığındaki performansları bireysel olarak ortaya konulmuş, birbirleriyle karşılaştırılmış, yorumlanmış ve farklı algoritmaların tasarlanan modeldeki boyutlandırma optimizasyonlarının değerlendirilmesine yönelik öneriler sunulmuştur.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Mikro şebekelerde tanımlanan kısıtlar ile belirlenen bir amaç fonksiyonunun en iyi değere getirilerek minimize yada maksimize edilmesi için girdi değişkenlerinin tahmin edilmesi süreci optimizasyon olarak adlandırılır. Mikro şebekelerde optimizasyon süreci önem arz eden bir konu olup enerji yönetimi ve boyutlandırma optimizasyonuna ilişkin literatür taraması klasik metotlar, yazılım araçları ve yapay zeka metotlarının uygulamaları olmak üzere üç kategoride incelenmiştir.

Mikro şebekelerde klasik metotlar ile yapılan enerji yönetimi ve boyutlandırma optimizasyonuna ilişkin çeşitli çalışmalar incelenmiştir.

Mashayekh vd. (2017) birden fazla enerji üretim kaynağına sahip olan mikro şebekelerde yükün enerji talebini tamamıyla karşılayacak bir mikro şebekenin tasarlanması konusunu ele almışlardır. Bunun için farklı enerji kaynaklarına sahip bir mikro şebekede optimum teknoloji portföyünü, optimum teknoloji yerleşimini ve optimum dağıtım belirleyen bir optimizasyon modelini karışık tam sayılı doğrusal programlama ile tasarlamışlardır. Bu tasarım mikro şebekelerdeki dağıtık üreteçlerin optimal yerleşimi için fiziksel kısıtları ve çalışma kısıtlamalarını, elektrik ve ısı transferi ağı için tam sayılı lineer modelin formülasyonunu içermektedir. Geliştirilen bu optimizasyon modelinin çalışması tek düğümlü ve çok düğümlü yaklaşımlar ile test edilmiştir. Test edilen model ile güç akışı çözümleri karşılaştırılmış ve daha küçük bara gelimi hatası gözlenmiştir.

Bir diğer çalışmada Zolfaghari vd. (2019) mikro şebekelerin çalışma maliyetini ve toplam sistem maliyetini azaltmak için analitik maliyet tabanlı bir yaklaşım ile batarya enerji depolama biriminin boyutlandırılması üzerinde çalışmışlardır. Şebeke bağlantısız çalışacak şekilde tasarlanan mikro şebeke FV sistem, batarya, rüzgâr türbini, yakıt hücresi ve dizel jeneratör bileşenlerinden oluşmakta olup belirlenen bu sorun için tanımlanan problemi karışık tam sayılı lineer programlama ile formüle etmişlerdir. Bu doğrultuda senaryolar tanımlanmış ve maliyet kriteri açısından en uygun batarya kapasitesi araştırılmıştır.

Analitik yaklaşıma ek olarak Cardoso vd. (2018) farklı enerji kaynaklarını içeren bir mikro şebekenin boyutlandırma modelini karışık tam sayılı lineer programlama kullanarak gerçekleştirmiş ve bataryanın yaşlanma ve bozulma modelini tanımlamışlardır. Optimal FV sistem ve depolama kapasitesinin, optimal dağıtık kaynak kullanımının, çalışma stratejisinin ve sistem maliyetlerinin bataryanın yaşlanması üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Sonuçlar mikro şebekelerde boyutlandırma yapılırken batarya bozulmasını dikkate alınan sistem planlaması ve karar vermede önemli etkileri olduğunu ortaya koymuştur.

Klasik metotlar kullanılarak yapılan bir diğer çalışmada ise Jiménez vd. (2019) bir mini şebekedeki üreteçlerin konumuna ve boyutlandırma sorununa yeni karışık tam sayılı lineer doğrusal programlama modeli ile çözüm aramışlardır. Bu şebekenin işletimindeki elektrik güç kayıplarını minimize etmeyi amaçlamışlardır. Gerçek üretim ve tüketim verileri kullanılarak önerilen model test edilmiş, modelin çıktısı olarak ise FV güç sisteminin optimum yeri ve kapasite bilgisi elde edilmiştir.

Klasik metotlar ile yapılan boyutlandırma optimizasyonuna ek olarak yazılım araçları geliştirilmiş ve mikro şebekelerin planlamasında ve değerlendirilmesinde kullanılmışlardır.

Çetinbaş vd. (2019) Eskişehir Osmangazi Üniversitesi'nde yer alan hastane kompleksi için Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources (HOMER) yazılımı kullanılarak FV güç sistemi, bataryalar, dizel jeneratörler ve yüklerden oluşan bir hibrit mikro şebeke tasarlanmıştır. Bir yıllık gerçek tüketim verileri kullanılarak yapılan performans analizi ve optimizasyon neticesinde FV güç sistemi, dizel jeneratör ve dönüştürücülerin optimum güç değerleri ve bataryanın ise optimum kapasitesi belirlenmiştir. Önerilen mikro şebeke ile elektrik enerjisinin maliyeti azaltılmış, güvenilirlik artırılmış ve yenilenebilir enerji kullanımına katkıda bulunulmuştur.

HOMER yazılımı kullanılarak yapılan bir diğer çalışmada Zahboune vd. (2016) güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, bataryalar ve yüklerden oluşan ve modifiye edilmiş elektrik sistem kaskad analizi metoduna dayanan bir hibrit enerji üretim sistemi tasarlanmıştır. Ada modlu çalışan bu sistemden elde edilen sonuçlar HOMER ile karşılaştırılmış, metot ve HOMER yazılımı optimal çözümün bulunmasında başarılı olmuşlardır.

HOMER yazılımı ile yapılan bir diğer mikro şebeke tasarımında Halabi vd. (2017) FV güç sistemleri, dizel jeneratörler, enerji depolama üniteleri ve dönüştürücülerin kullanıldığı iki adet merkezi olmayan enerji üretim tesisini modellenmişlerdir. Çeşitli senaryolar için bu iki istasyon teknik, ekonomik ve çevresel açılardan analiz edilmiş ve değerlendirilmiştir. Yük talebini karşılamada, toplam net bugünkü maliyet ve enerji maliyetinde tatmin edici sonuçlar elde edilmiştir.

HOMER yazılımı ile yapılan diğer çalışmalardan farklı olarak Rajbongshi vd. (2017) biokütle gazlaştırma kaynağını da kullanarak FV güç sistemi, dizel jeneratör ve elektrik şebekesinden oluşan hibrit bir güç üretim sistemi tasarlanmışlardır. Şebekeye bağlantılı ve şebekeden bağımsız modlarda çalışabilen hibrit sistemin en optimum sistem konfigürasyonu HOMER simülatörü kullanılarak araştırılmış ve çeşitli yük seviyeleri bakımından değerlendirilmiştir. Araştırmalar neticesinde şebeke bağlantılı sistemin enerji maliyetinin daha ucuz olduğu ve biokütle gazlaştırma sisteminin FV sistemden daha iyi çıktı verdiği sonucuna varılmıştır.

Biokütle kaynağının kullanıldığı bir diğer çalışmada ise Shahzad vd. (2017) Pakistan'da bir tarım çiftliği ve yerleşim bölgesi için FV güç sistemi ile biokütleyi birleştiren şebekeden bağımsız bir hibrit enerji sistemi önermişlerdir. Yükün enerji gereksinimlerini karşılayacak sistemin tasarımı FV güç sistemi ve biokütleden oluşan hibrit sistem konfigürasyonu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan sistemin teknik ve ekonomik analizi HOMER yazılımı ile yapılmış ve bu tasarım net bugünkü maliyet ve enerji maliyeti açılarından değerlendirilmiştir. Bu sistemin teknik ve ekonomik açısından uygulanabilir olduğu sonucuna varılmıştır.

Mikro şebekelerde boyutlandırma optimizasyonunun yapay zeka metotları ile uygulanması dikkat çekmektedir. Bu metotların içinde canlılardan esinlenilerek geliştirilen popülasyon tabanlı ve sürü zekasına sahip meta sezgisel algoritmalar popüler uygulamalar olup bu algoritmalar ile başarılı sonuçlar elde edilmektedir.

Yahiaoui vd. (2017) izole yapıya sahip kırsal bir köyde yer alan hibrit güç üretim sistemindeki toplam maliyeti minimize etmek amacıyla bir strateji önermişlerdir. FV

paneller, dizel jeneratör, bataryalar ve yükten oluşan bu hibrit güç sisteminin maliyet minimizasyonu gri kurt optimizasyon algoritması (GKOA) ile gerçekleştirilmiştir. GKOA algoritmasının performansı parçacık sürü optimizasyonu algoritması (PSOA) ile karşılaştırılmıştır. GKOA problemin çözümünü PSOA algoritmasına göre hızlı yakınsama ve daha düşük maliyet ile gerçekleştirmiştir.

GKOA algoritmasına ek olarak Abdel-mawgoud vd. (2019) salp sürü algoritmasını (SSA) kullanmışlar ve dağıtım sistemlerine entegre edilecek hibrit yenilenebilir enerji sistemlerinin optimizasyonunu SSA ve güç kaybı hassasiyeti algoritması bir arada kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Yıllık yük artışının etkisini dikkate alınarak yapılan boyutlandırma optimizasyonu için oluşturulan hibrit algoritmanın performansı incelenmiştir. Aktif güç kaybının minimizasyonu ve yakınsamanın karakteristik hızı açısından başarılı bir performans sergilemiştir.

Meta sezgisel algoritmalar içinde PSOA popüler bir algoritmadır ve Azaza ve Wallin (2017) hibrit mikro şebeke sistemlerine yapılacak yatırımların değerlendirilmesini bu algoritma ile gerçekleştirilmişlerdir. İsveç'in santral kurulumu için potansiyel teşkil eden noktalarının yerleri ve bileşenlerin kapasiteleri araştırılmıştır. Bir yıllık hava koşulları altında yapılan simülasyon ile gerçekleştirilen enerji yönetiminin sonucunda teknik ve ekonomik analizler İsveç'in kırsal bölgelerinin gelişme potansiyelini ortaya koymuştur.

PSOA ile yapılan bir diğer çalışmada Gholami ve Dehnavi (2019) rüzgâr, güneş, birleşik ısı ve güç santralinden oluşan bir mikro şebekedeki dağıtık üreteçler arasındaki güç paylaşımını modifiye edilmiş PSOA ile gerçekleştirmişlerdir. Yükün belirli ve belirsiz olduğu durumlar için mikro şebekenin çalışması planlanmış ve maliyeti minimize etmek amaçlanmıştır. PSOA, genetik algoritma ve hafıza tabanlı genetik algoritma ile karşılaştırılmış ve üretim maliyetini minimize etmede önerilen algoritma daha başarılı performans sergilemiştir.

Lingamuthu ve Mariappan (2019) diğer sistemlere ek olarak pompaj depolamalı hidroelektrik sistemini barındıran şebeke bağlantılı bir hibrit yenilenebilir enerji sistemi önermişlerdir. Optimum güç akışı kontrolü ve üretim maliyetinin minimize edilmesini

amaçlamışlardır. SSA ve guguk kuşu algoritması kullanılarak önerilen sistem tasarımı ile maksimum güç elde edilmiş ve üretim maliyeti minimize edilmiştir.

Wong vd. (2019) bir diğer meta sezgisel algoritma olan balina optimizasyon algoritması (BOA) kullanarak batarya enerji depolama sisteminin optimal yerleşimi ve kapasitesinin belirlenmesi üzerinde çalışmışlar ve dağıtım sistemindeki kayıpları azaltmayı amaçlamışlardır. BOA ile bataryanın yeri ve boyutu tahmin edilmiştir, ateş böceği algoritması (ABA) ve PSO ile BOA algoritmasının performansı karşılaştırılmıştır. Batarya enerji depolama biriminin optimal yerleşimi ve boyutlandırılmasında BOA diğer algoritmalara göre daha başarılı performans sergilemiştir.

BOA algoritmasına ek olarak Sanajaoba (2019) çalışmasında ABA algoritmasını kullanmış ve güneş enerjisi, rüzgar enerjisi ve bataryadan oluşan bir hibrit enerji sisteminin optimal boyutlandırması üzerinde çalışmışlardır. Elektrik enerjisine erişimin olmadığı uzak bir bölgeye kurulabilecek bir sistem, enerji maliyeti açısından incelenmiş, sistemin uygulanabilirliği ve konfigürasyonu değerlendirilmiştir.

Bu çalışmada ise, önceki çalışmalardan farklı olarak otonom çalışan bir mikro şebekenin meta sezgisel algoritmalar ile boyutlandırma optimizasyonunun gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Boyutlandırma optimizasyonunun temel amacı üretim, depolama ve yedek enerji sistemlerinden oluşan mikro şebekelerin güvenilirlik, ekonomik, çevresel ve sosyal açıdan duyarlılığının artırılarak yüklerle kesintisiz, uygun maliyetli ve temiz enerji aktarımının sağlanmasıdır. Boyutlandırma optimizasyonu yapılmadan rastgele bir araya getirilen mikro şebekelerde atıl kalan ve kullanılmayan kapasiteler yatırım, işletme ve bakım maliyetlerini arttıracak gibi, doğru yapılmayan yada anlık yapılan kapasite planlamaları ise enerji sürekliliğini sekteye uğratabilmektedir. Mikro şebekelerin planlanarak en uygun şekilde getirilmesi ile sermaye doğru kanallara edilecek, yenilenebilir enerji kaynaklarının bölgesel potansiyellerinden faydalanılarak, depolama ve yedek enerji sistemleri ile desteklenen mikro şebekelerden maksimum fayda elde edilecektir. Bu sebeple mikro şebekede kullanılacak bileşenlerin en uygun kapasitelerinin belirlenmesi için güvenilirlik ve ekonomik değerlendirme kriterleriyle bir problem tanımlanmıştır. Boyutlandırma için gerekli matematiksel ifadeler çıkartılarak enerji yönetimi modeli oluşturulmuştur. Bu modele belirlenen beş meta sezgisel algoritma uygulanarak

boyutlandırma optimizasyonunun çıktıları elde edilmiştir. Tasarlanan bu enerji yönetimi alt yapısının avantajı istenilen algoritmanın sisteme uygulanabilmesi ve kapasitelerin optimum tahmininin yapılabilmesidir.

### 3. MİKRO ŞEBEKELER

#### 3.1. Mikro Şebeke Kavramı

Mikro şebeke kavramının genel hatları farklı kaynaklarda değişik bakış açıları ile aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

Mikro şebeke: yerel elektrik enerjisi kaynaklarından ve yüklerden oluşan, güç şebekesine bağlı veya ekonomik ve fiziksel sebeplerden dolayı güç şebekesinden ayrı bir biçimde otonom çalışabilen yapılardır (Alhelou ve Hayek, 2019).

Mikro şebeke: FV paneller, evirici ve müşterinin elektrik yüklerine enerji sağlayan küçük yerel elektrik şebekesidir (Alhelou ve Hayek, 2019).

Mikro şebeke: küçük ölçekli elektrik şebekelerdir ve diğer küçük ölçekli şebekelerden bağımsız çalışabildiği gibi birlikte de çalışabilmektedir (Alhelou ve Hayek, 2019).

Mikro şebeke: dağıtık üretim kaynakları, enerji depolama birimleri ve yerel yüklerden oluşan ve bu bileşenleri birbirine bağlayan küçük şebekelerdir (Kumar vd., 2018).

Mikro şebeke: tanımlanmış elektriksel sınırlar çerçevesinde birbirine bağlı bir grup dağıtık üretim kaynağı ve yüklerden oluşan ve şebeke tarafından bakıldığında kontrol edilebilen tek bir varlık olarak davranan yapılardır (Shi, 2019).

Mikro şebeke: farklı yenilenebilir enerji kaynaklarının ve yerel yüklerin bir araya geldiği kontrol edilebilir bir varlıktır (Kumar, 2018).

Mikro şebeke: yerelleşmiş elektrik enerjisi kaynakları ve yük grubundan oluşmaktadır. Klasik elektrik şebekesine bağlı ve eş zamanlı çalışabilen mikro şebekeler ekonomik ve fiziksel sebeplerden dolayı güç şebekesinden ayrı bir biçimde otonom çalışabilen yapılardır (Diaz vd., 2019).



Yapılan bu tanımlardan hareketle mikro şebekeler, bölgesel olarak var olan yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanan, enerji üretim tesislerinin yüklerin yakınında kurulduğu, yerinde üretim ve tüketim yapacak şekilde çalışan ve kontrol edilen tek bir yapı olarak davranan küçük güçlü şebekeler olarak tanımlanmaktadır. Orta ve uzun vadeli enerji senaryoları ve hedefleri için yenilenebilir enerji kaynaklarının ve bu kaynakların potansiyelinin elektrik enerjisi üretim sistemlerine dâhil edilmesi günümüz enerji sektörü için kritik bir konudur. Bu sebeple yenilenebilir enerji kaynakları, dağıtık üreteçler, depolama birimleri ve yüklerden oluşan ve mikro şebeke olarak isimlendirilen enerji çözümleri ortaya çıkmıştır. Bu sistemler şebeke ile bağlantılı çalışabildiği gibi şebekeden bağımsız yerel ve uzak bölgelerde de uygulanabilmektedir. Klasik büyük ölçekli güç sistemlerine göre mikro şebekeler birçok avantaja sahiptir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmadığı ve büyük güçlü üretim santrallerinin bulunduğu geçmiş dönem elektrik enerjisi pazarında bireyler sadece tüketici olarak yer alabilmektedir. Bu durum mikro şebekeler ile değiştirilmiş, bireyler hem tüketici olarak hem de küçük ölçekli üretimleri ile üretici rolünde enerji pazarında yer almaktadır. (Mengelkamp vd., 2018; Koltsaklis vd., 2018; Boudoudouh ve Maâroufi, 2018; Çetinbaş vd., 2017).

Mikro şebekelerden beklentiler mikro şebekenin uygulanacağı yer veya son kullanıcının beklentisine göre değişkenlik göstermektedir. Veri merkezleri veya finans kurumları gibi yerler enerji güvenliğine yoğunlaşırken, diğer kullanıcılar için enerjide sürdürülebilirlik ve karbon ayak izinin azaltılması konuları önem arz edebilir. Ayrıca enerjiye erişimin sınırlı olduğu yâda fosil kaynaklardan elektrik enerjisi üretiminin ekonomik olmadığı durumlarda uygun fiyatlı yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmek avantajlı olabilmektedir. Mikro şebekeler güvenli, güvenilir, sürdürülebilir, düşük karbonlu, uygun fiyatlı ve karlı olarak tanımlanmaktadır. Şebeke bağlantılı çalışmada, şebekede meydana gelen arızalarda istenmeyen etkilere karşı kendini izole edebilir, bünyesinde bulunan yenilenebilir enerji kaynakları ve/veya yakıt mevcut olduğu sürece bağımsız çalışabilir. Bu sebeple mikro şebekeler güvenli ve güvenilirdir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının şebekelere entegrasyonunun artmasıyla mikro şebekeler ile enerji açısından yönelim sürdürülebilir ve düşük karbonlu kaynaklara doğrudur. Mikro şebekeler son kullanıcılara esneklik tanıyarak en uygun yerel enerji kaynağından üretim ve kullanımının kombinasyonuna, depolanmasına ve en uygun maliyetli sistem dengesinin kurulmasına olanak tanır (Arup, 2019).

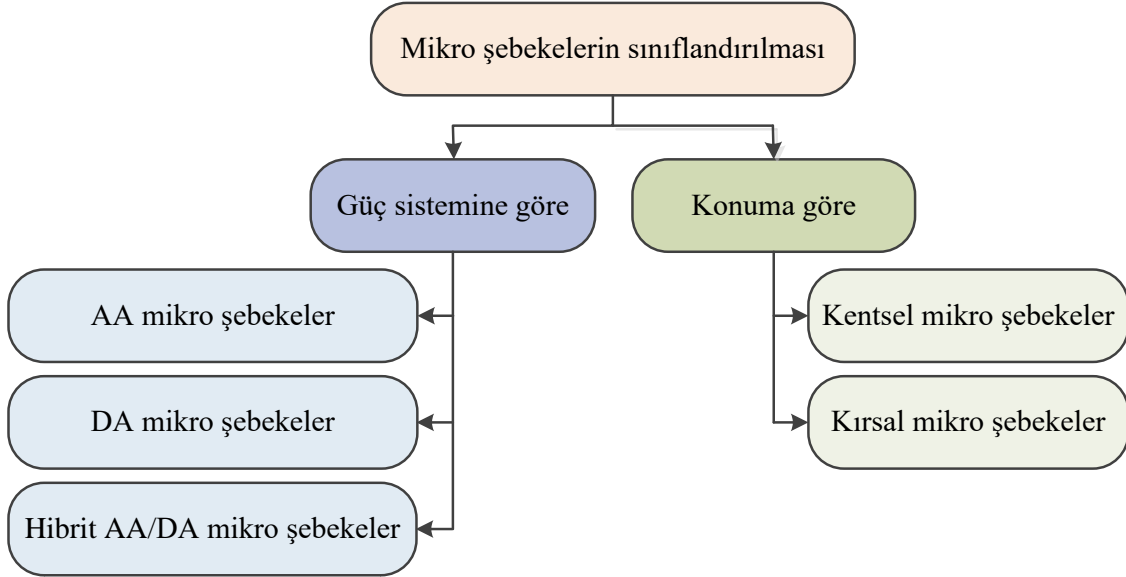
### 3.2. Mikro Şebekelerin Temel Yapısı ve Sınıflandırılması

Küçük ölçekli şebekeler olan mikro şebekeler klasik şebekelerin merkezi enerji üretimi ve iletiminin çeşitli dezavantajlarına alternatif olarak sunulan yapısında enerji arzının bölgesel gerçekleştirilmesi, kendi kaynakları ile bölgesel üretilen elektrik enerjisinin bölgesel tüketilmesi, yerinde üretim ve yerinde tüketim ile iletim kayıplarının azaltılması ve kaynakların verimli kullanılması amaçlanmaktadır. Mikro şebekeler genel olarak yenilenebilir enerji kaynakları, enerji depolama birimleri, jeneratörler, şebeke, güç elektroniği dönüştürücüleri ve enerji yönetimi birimi gibi üretim, depolama, izleme, ölçüm ve kontrol bileşenlerinden oluşmaktadır.

Yerel enerji potansiyelleri ve yerel şebeke yapısı göz önünde bulundurularak mikro şebekeler çeşitli şekillerde konfigüre edilebilir ve bu dengenin sağlanması üzere yapılandırılabilir. Mikro şebekelerin kaynak grubunu kolay kontrol edilebilir, aralıklı veya kontrol edilemez kaynaklar oluşturur. Yakıt hücreleri ve dizel jeneratörler enerji üretimini yük talebine göre ayarlayabildiği için kontrol edilebilir kaynaklar grubundadır. FV sistemler ışınım ve sıcaklık gibi meteorolojik koşullara bağlı olarak enerji üretimi gerçekleştirir ve bu koşulların değişkenliği ile enerji üretiminde de değişim olur. Kesintili ve değişken enerji üretimi gerçekleştiren FV sistemlerin enerji üretimi tahmin edilebilir. Rüzgâr enerjisi sistemleri ise güneş enerjisine göre daha az tahmin edilebilir yapıdadır. Mikro şebekelerin yük grubu kritik yüklerden, ayarlanabilir yüklere kadar geniş bir yelpazede yer alır. Belirlenen periyotlarda müdahale edilerek devre dışı bırakılabilen veya tekrar devreye alınabilen bu yükler kontrol edilebilir bir mekanizmaya sahiptir. Tıbbi cihazlar, acil servisler ve yaşam destek üniteleri gibi sağlık sektörüne konu olan yükler, veri merkezleri ve finansal uygulamalarını içeren kurumlar kritik yük grubunu oluştururken, kişisel tercihlere bağlı olarak değiştirilebilen aydınlatma ve ortam sıcaklığının kontrolü gibi yükler ayarlanabilir yüklere örnek teşkil etmektedir. Mikro şebekelerde depolama ise yük talebinin karşılanabilmesi için ve kritik yükler için yedek enerji sağlamaktadır (Arup, 2019).

Mikro şebekeler güç sistemine ve konuma göre olmak üzere iki gruba ayrılır. Güç sisteminin durumuna göre alternatif akım (AA) mikro şebeke, doğru akım (DA) mikro şebeke ve hibrit AA/DA mikro şebeke olarak üç sınıfta incelenirken konuma göre mikro

şebekeler ise kentsel ve kırsal mikro şebekeler olarak gruplandırılır. Mikro şebekelerin gruplandırılması şekil 3.1’de verilmiştir (Hossain vd., 2019).



Şekil 3.1. Mikro şebekelerin sınıflandırılması

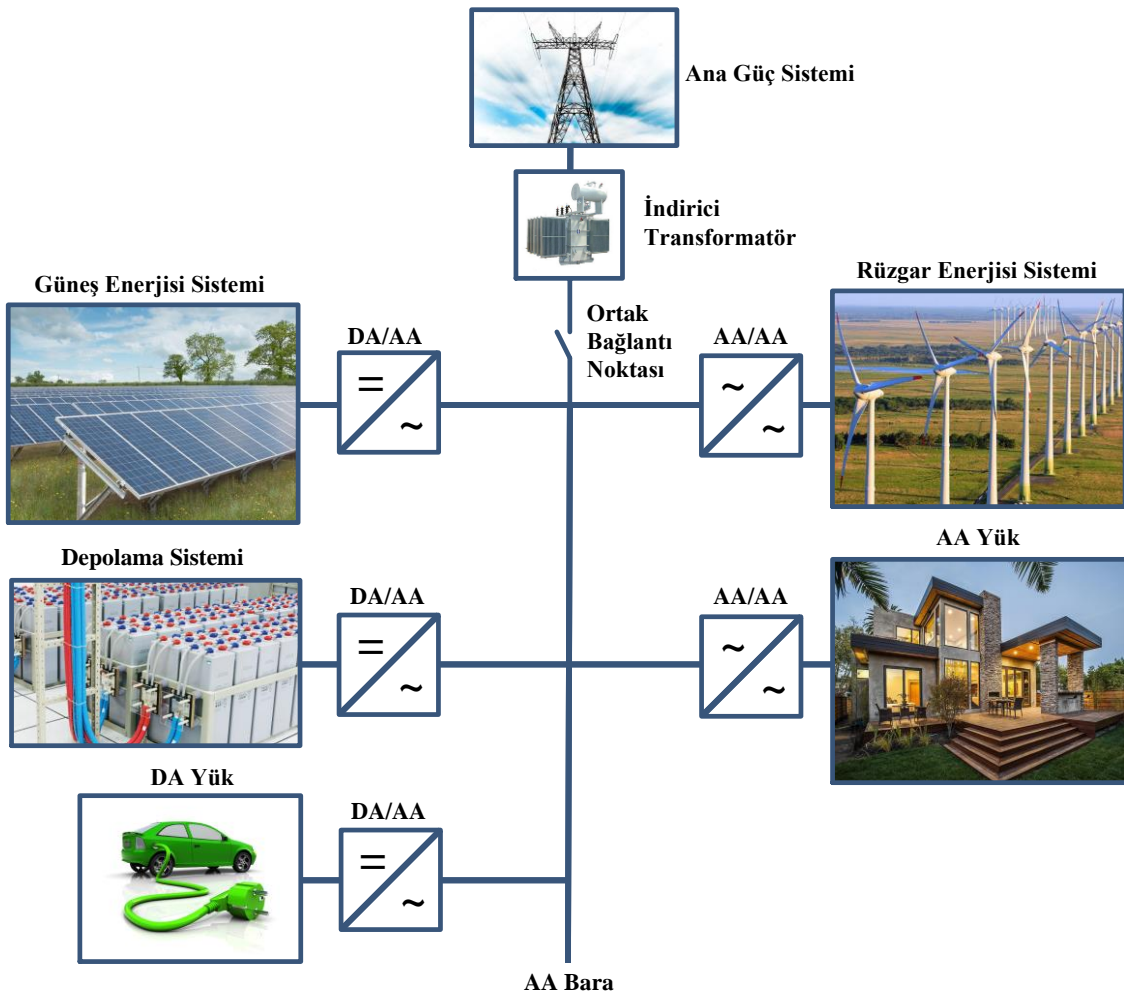
### 3.2.1. Güç sistemine göre mikro şebekeler

Güç sisteminin durumuna göre mikro şebekeler AA mikro şebeke, DA mikro şebeke ve hibrit AA/DA mikro şebeke olmak üzere üç sınıfta incelenmektedir.

#### 3.2.1.1. AA mikro şebeke sistemleri

Dağıtım ağındaki AA güç sistemini temsil eden AA mikro şebekeler özel gereksinimler olmadan ortak bağlantı noktasından ana güç şebekesine kolaylıkla bağlanabilir. Güneş ve rüzgâr enerjisi sistemleri gibi dağıtık üreteçler, enerji depolama birimleri, jeneratörler, yükler ve sistemde yer alan bütün bileşenler bir AA baraya bağlanır. Mikro şebekenin üretim, tüketim ve depolama bileşenlerinin AA baraya bağlantısı güç elektroniği dönüştürücüleri üzerinden gerçekleştirilir. Şekil 3.2’de bir AA mikro şebekenin genel yapısı verilmiştir. AA mikro şebekelere DA üreteçler ve DA yükler de bağlanabilir. DA üreteçler ve yükler evirici ve çevirici üzerinden bağlantıyı gerçekleştirirler. AA mikro şebekeler hem şebeke bağlantılı hem de ada modlu olarak çalışabilirler. Rutin çalışma durumlarında AA mikro şebeke ve güç şebekesi ortak bağlantı üzerinden bağlıdır. Yükün

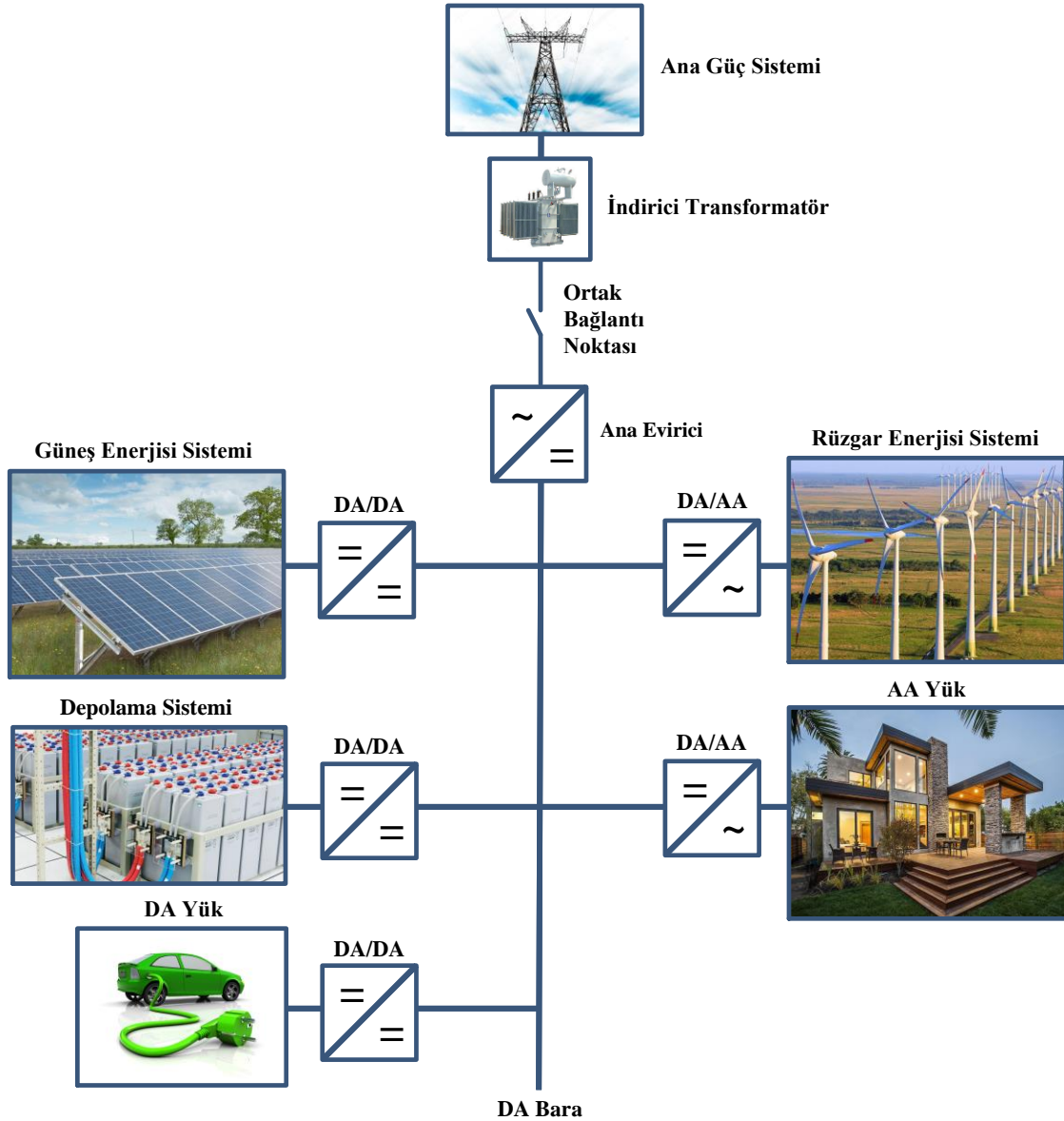
enerji ihtiyacı mikro şebekeden karşılanır. Enerji talebinin mikro şebekeden karşılanamaması durumunda güç şebekesinden mikro şebekeye enerji sağlanır. Mikro şebekede enerji fazlası olduğu durumda ise ana güç şebekesine enerji ihraç edilir. Rutin çalışmanın haricinde ana güç şebekesinde herhangi sorun teşkil eden arızanın oluşması durumunda mikro şebeke ana şebekeden ayrılır ve ada modlu olarak izole çalışma formuna geçer (Çetinbaş vd., 2017; Justo vd., 2013). Klasik enerji şebekesi üretiminin AA olması ve koruma ve kontrol ekipmanlarının uygulanması noktasında gelişmiş bir alt yapının olup AA mikro şebekelere direkt uygulanabilmesi bu mikro şebekelerin en önemli avantajını oluşturmaktadır. Rüzgâr türbinleri gibi orijinalinde AA enerji üretimi yapan üreteçler sisteme kolaylıkla dâhil olabilmektedir. AA mikro şebekeye DA üreteç ve yüklerin bağlanması gerektiğinde çok kademeli enerji dönüşümü için evirici ve çeviricilerin bağlanması gerekliliği AA mikro şebekelerin dezavantajını oluşturmaktadır.



Şekil 3.2. Bir AA mikro şebekenin genel yapısı

### **3.2.1.2. DA mikro şebeke sistemleri**

DA mikro şebekelerde bileşenler DA baraya dönüştürücüler vasıtasıyla bağlanır. Bir DA mikro şebekenin genel yapısı şekil 3.3’de verilmiştir. FV güç sistemleri DA/DA ve rüzgâr enerjisi güç sistemleri AA/DA dönüştürücü bağlantı prosedürünü izlemektedir. Batarya ve elektrikli otomobiller gibi şarj ve deşarj fonksiyonu gerektiren bileşenler ise çift yönlü dönüştürücüler ile bağlantı yapılır. FV sistemler ve yakıt hücreleri çevre dostu enerji üretimi kaynaklarının DA enerji üretmesi ve bilgisayarlar, çeşitli ev aletleri, floresan lambalar ve değişken hızlı sürücüler gibi yük ve kullanıcı ekipmanlarının DA enerjiye ihtiyaç duyması DA mikro şebekeye olan ihtiyacın bir gerekliliğidir. Talep olan enerji türünde üretim ile güç elektroniği ekipmanları ile daha az enerji dönüşümü ile enerji kaybı azaltılması ve verimliliğin artırılması DA mikro şebekelerin avantajları arasındadır (Çetinbaş vd., 2017; Justo vd., 2013).

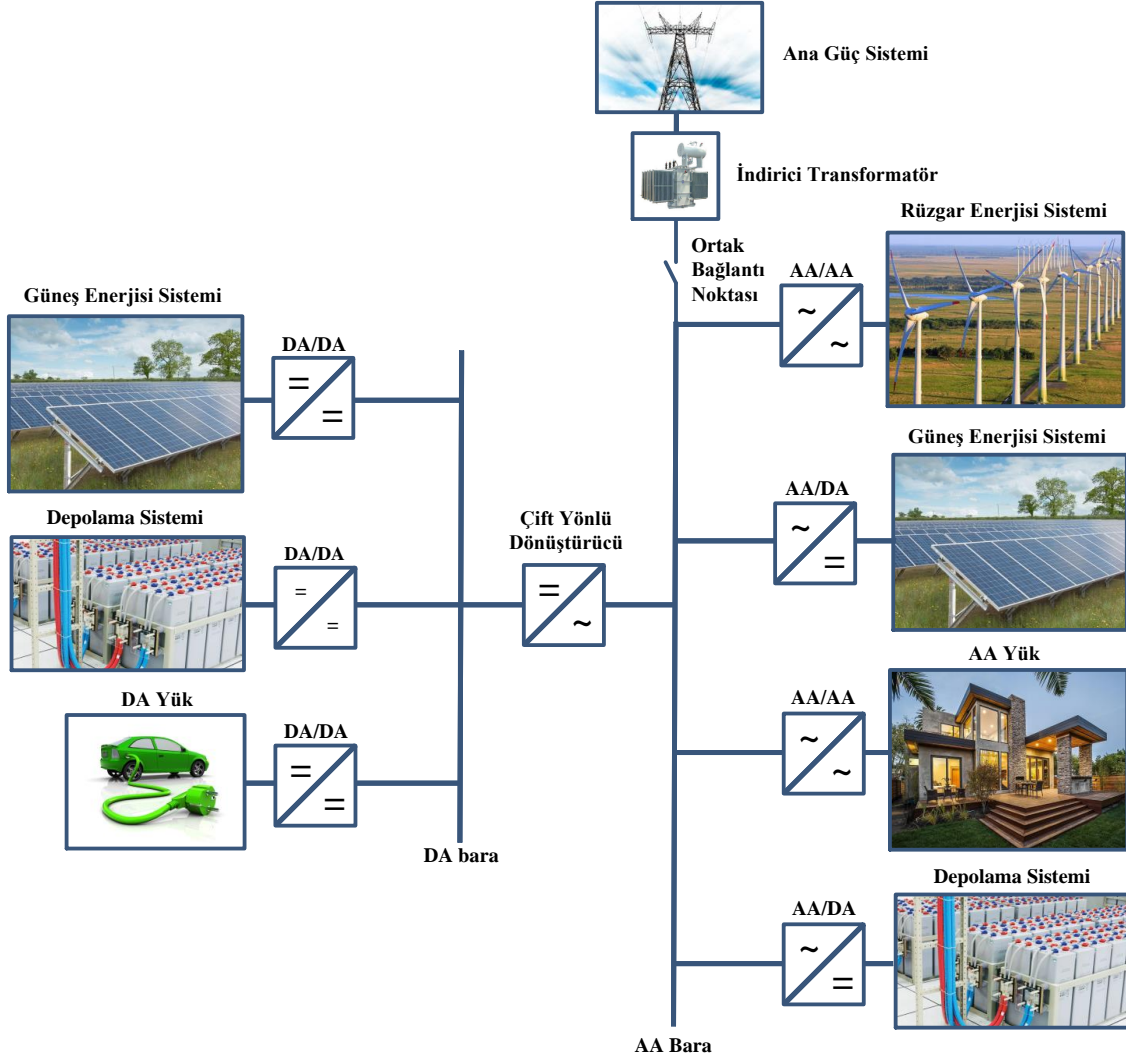


Şekil 3.3. Bir DA mikro şebekenin genel yapısı

### 3.2.1.3. Hibrit AA/DA mikro şebeke sistemleri

DA ve AA dağıtım ağının bir arada bulunması ve bu iki baranın birbirine çift yönlü dönüştürücü üzerinden bağlanması ile hibrit mikro şebeke yapısı elde edilmiştir. Şekil 3.4'de hibrit mikro şebeke yapısı verilmiştir. DA ve AA baraya mikro şebekenin üretim, depolama ve yük bileşenleri bağlanabilmektedir. Hibrit mikro şebekelerin en önemli avantajı AA yâda DA üreten ve tüketen bileşenler ürettiği enerji türünün bulunduğu baraya bağlanabildiği için enerji dönüşüm süreçlerini minimize edilmektedir. Enerji dönüşümü cihazlarının ve ara yüz

cihazlarının azaltılması enerji maliyetlerini azaltıcı yönde olumlu etki ederken enerji verimliliği de artırılmış olur (Çetinbaş vd., 2017; Hossain vd., 2019).



Şekil 3.4. Bir hibrit AA/DA mikro şebekenin genel yapısı

### 3.2.2. Konuma göre mikro şebekeler

Konuma göre mikro şebekeler kentsel ve kırsal mikro şebekeler olmak üzere iki sınıfta incelenmektedir.

### **3.2.2.1. Kentsel mikro şebekeler**

Kentsel mikro şebekeler hizmet şebekesine bağlanabilen ve ana şebeke ile güç alışverişi yapabilen şebekelerdir. Genellikle şebeke bağlı olarak çalışan bu mikro şebekeler ana güç şebekesinde meydana gelen güç kalitesinin bozulması ve olağan dışı arıza durumlarında şebeke bağlantılı olan çalışma modunu adalanma olarak değiştirebilmektedir. Kentsel mikro şebeke uygulamaları konut ve ticari alanları kapsayan bir alanda hastaneler, üniversite yerleşkeleri, alışveriş merkezleri ve diğer endüstri ve topluluk uygulamaları için inşa edilebilmektedir (Hossain vd., 2019).

### **3.2.2.2. Kırsal/uzak bölge mikro şebekeler**

Kırsal mikro şebekeler coğrafi konum gibi sebeplerden dolayı ana güç şebekesine erişimin olmadığı uzak bölge uygulamalarda ada modlu olarak çalışmaktadır. Otonom çalışan bu mikro şebekeler kentsel mikro şebekelerin uymakla yükümlü olduğu kurallara tabi değildir (Hossain vd., 2019). Uzak ve erişimin zor olduğu izole bölgeler için temiz enerji kaynaklarının kullanılarak lokal enerji çözümlerinden faydalanılmasıyla birlikte ekonomik faaliyetlerin desteklenmesi, canlandırılması ve elektriğe erişimi olmayan bireysel için enerji imkanı sunulması önemli bir fırsattır.

## **3.3. Mikro Şebekelerin Klasik Şebekeler İle Karşılaştırılması**

Mikro şebekeler güç aralığı, enerji kaynağı ve kurulum yerinin seçimi gibi açılardan klasik şebekeler ile farklılık göstermektedir. Uygulandığı güç aralığı açısından değerlendirildiğinde; klasik şebekelerde merkezileşmiş üretim ve tek noktadan dağıtım prensibi benimsendiği için çok büyük güçlerde enerji üretimi yapılırken mikro şebekelerde daha küçük güçlü kaynaklar ya da mikro kaynaklar kullanılmaktadır. Dağıtık enerji kaynağı seçiminde; mikro şebekelerde coğrafik konum ve meteorolojik koşullara bağlı olarak farklı yenilenebilir enerji kaynakları ve bu kaynakların kombinasyonu seçilebilir. Yerinde üretime ek olarak hedef kitle olarak seçilen tüketicilerin bulunduğu bölgelere mikro şebekeler kurularak yerinde tüketim prensibiyle klasik şebekelerden ayrılmaktadır. Ayrıca mikro şebekeler bireyselleştirilebilmekte, enerji talebi ve ihtiyaçlar profiline göre tasarım özelleştirilebilmektedir. Böylece üretim seviyesinden tüketime kadar tüm düzeylerde mikro



şebekelerden optimum faydalanma amaçlanmaktadır. Şebeke bağlantılı çalışabilen mikro şebekeler şebeke tarafında herhangi bir arıza meydana geldiğinde kendini izole edebilmekte ve ada modlu çalışabilmektedir. Ayrıca mikro şebekeler elektrik şebekesine erişimin olmadığı uzak bölgelerin enerjiye erişimi için kritik bir rol oynamaktadır.

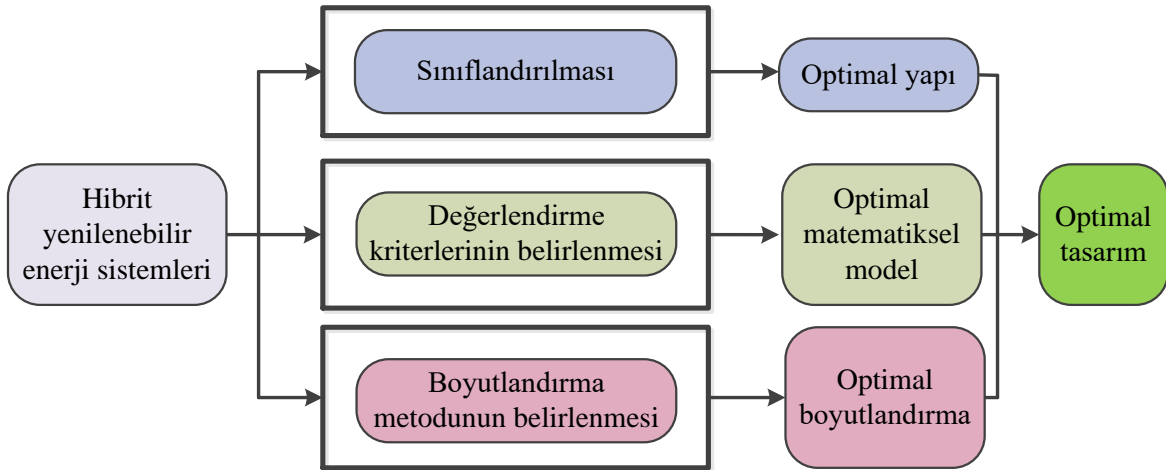
Bu bölümde mikro şebekeler kavram olarak tanımlanmıştır. Temel yapısı incelenen mikro şebekeler güç sistemine ve konuma göre sınıflandırılmış ve klasik şebekeler ile karşılaştırılmıştır.

#### 4. MİKRO ŞEBEKELERDE OPTİMAL TASARIM VE META SEZGİSEL ALGORİTMALAR İLE BOYUTLANDIRMA OPTİMİZASYONU

Mikro şebekelerde yenilenebilir yâda yenilenebilir olmayan dağıtık üreteçlerin mikro şebeke çatısı altında birleştirilmesi ile yapılan enerji üretimi sonucunda ekonomik, politik ve çevresel açıdan birçok fayda elde edilmektedir. Bu faydaların elde edilmesi ve mikro şebekelerden en etkili şekilde yararlanılabilmesi için optimal tasarım önemlidir. Bu bölüm mikro şebekelerde optimal tasarım ve meta sezgisel algoritmalar ile boyutlandırma optimizasyonu olmak üzere iki alt başlıkta incelenmiştir.

##### 4.1. Mikro Şebekelerde Optimal tasarım

Mikro şebekelerde optimal tasarım yaklaşımı hibrit yenilenebilir enerji sistemlerinin sınıflandırılması, değerlendirme kriterlerinin belirlenmesi ve boyutlandırma metodlarının/algoritmalarının seçimi olmak üzere üç aşamada gerçekleştirilir. Bu tasarım süreci şekil 4.1’de verilmiştir.

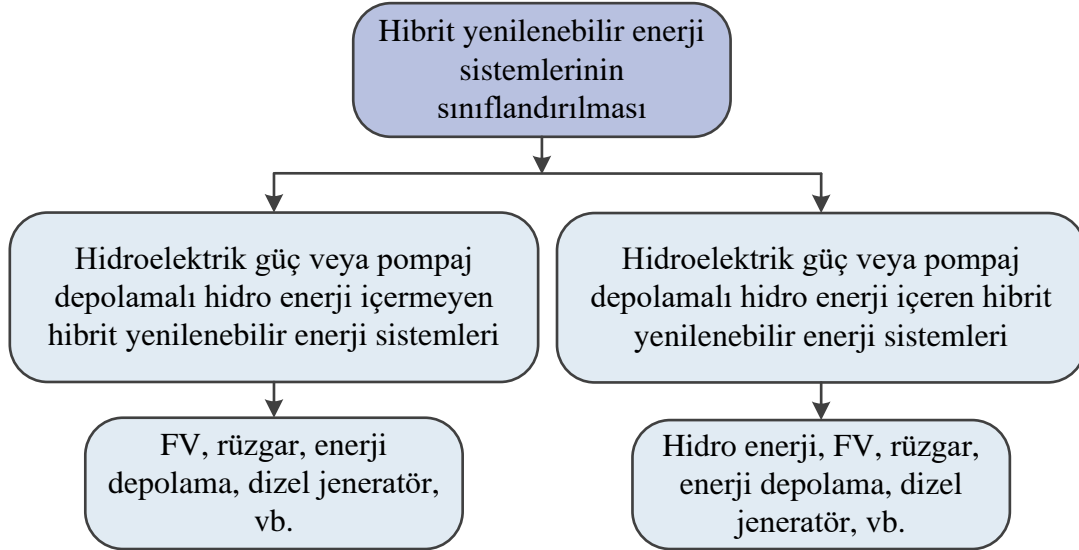


Şekil 4.1. Mikro şebekelerde optimal tasarım süreci

Bu aşamaların sonucunda optimal yapı, optimal matematiksel model ve optimal boyutlandırma elde edilerek optimal tasarım süreci tamamlanır. İlerleyen bölümlerde belirtilen bu tasarım süreci maddeler halinde detaylı olarak anlatılmıştır.

#### 4.1.1. Hibrit yenilenebilir enerji sistemlerinin sınıflandırılması

Hibrit yenilenebilir enerji sistemleri hidroelektrik gücün devrede olduğu ve olmadığı durum için iki sınıfa ayrılır. Bu enerji sistemlerinin sınıflandırılması şekil 4.2’de verilmiştir (Lian vd., 2019).

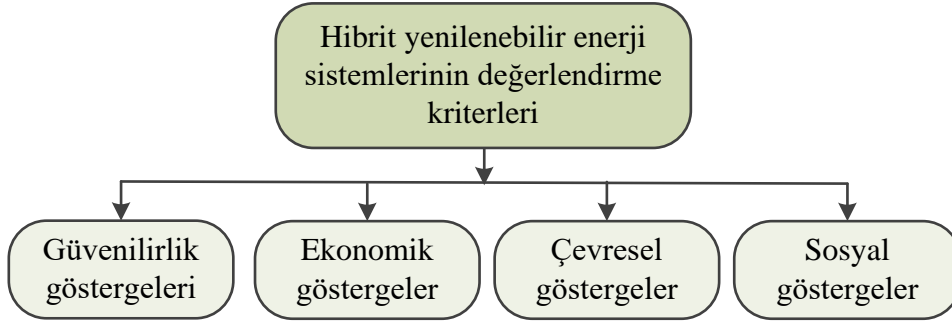


Şekil 4.2. Hibrit yenilenebilir enerji sistemlerinin sınıflandırılması

FV güç sistemleri, rüzgâr güç sistemleri, enerji depolama birimleri, dizel jeneratörler, hidroelektrik ve pompaj depolamalı hidro enerjili güç üretim santrallerinin kombinasyonları bir araya gelerek mikro şebekenin enerji üretim ve depolama bileşenlerini içeren optimal yapıyı oluşturur. Bu bileşenler oluşturulurken kentsel ya da kırsal mikro şebeke yapısı önemlidir. Kentsel mikro şebekeler ana güç şebekesi tarafından desteklenir. Fakat uzak bölge ve izole mikro şebeke uygulamalarında yenilenebilir enerji sistemlerinin meteorolojik koşullara bağlı olarak enerji üretiminin rastgele olması, değişkenlik göstermesi ve kesintiye uğraması durumlarında istenilen düzeyde elektrik enerjisi üretilemeyebilir. Bu sebeple yenilenebilir enerji kaynaklarından maksimum verim almak ve bu sorunların üstesinden gelmek için yenilenebilir enerji kaynakları enerji depolama çözümleri ile birlikte hibrit olarak kullanılır.

#### 4.1.2. Hibrit yenilenebilir enerji sistemlerinin değerlendirme kriterlerinin belirlenmesi

Optimal tasarımın ikinci aşaması olan değerlendirme kriterlerinin belirlenmesi ile optimal matematiksel model elde edilir. Hibrit yenilenebilir enerji sistemlerinin değerlendirme kriterleri şekil 4.3.'de verilmiştir (Lian vd., 2019).

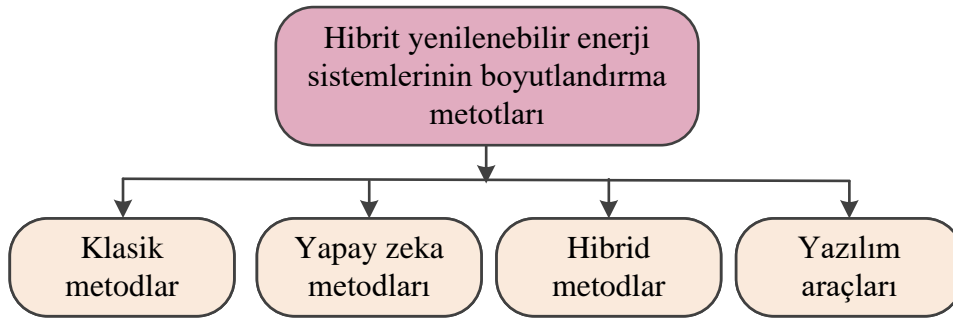


Şekil 4.3. Hibrit yenilenebilir enerji sistemlerinin değerlendirme kriterleri

Güvenilirlik, ekonomik, çevresel ve sosyal göstergeler optimal boyutlandırmanın belirlenmesinde ihtiyaç olan kriterlerin matematiksel modele yansıtılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Güvenilirlik göstergeleri tasarlanan sistemin, yükün enerji talebini karşılayabilmesi durumu ile ilgilenirken ekonomik göstergeler hibrit enerji sistemlerinin kabul edilebilir sistem maliyetleri ile yükü karşılayabilme durumu ile ilgilenir. Buna ek olarak çevresel göstergeler hibrit sistemin çıktısında oluşan kirleticilerin durumunu değerlendirilirken sosyal göstergeler ise politikalar, sürdürülebilir enerji ve sosyal gelişmelerin sistem üzerindeki etkisi ile ilgilenir.

#### 4.1.3. Hibrit yenilenebilir enerji sistemlerinin boyutlandırma metotlarının seçimi

Optimizasyon tekniklerinin esas amacı pratik, ekonomik ve çevresel olarak optimal bir sistemin elde edilmesidir. Boyutlandırma metotları enerjinin kullanıcıya aktarılması sırasında sistemlerin en verimli ve güvenilir biçimde çalışmasını sağlayacak en uygun yöntemi bulmak için kullanılan matematiksel ve yazılımsal uygulamalardır. Hibrit yenilenebilir enerji sistemlerinin boyutlandırma metotları şekil 4.4'de verilmiştir (Lian, J., vd., 2019).

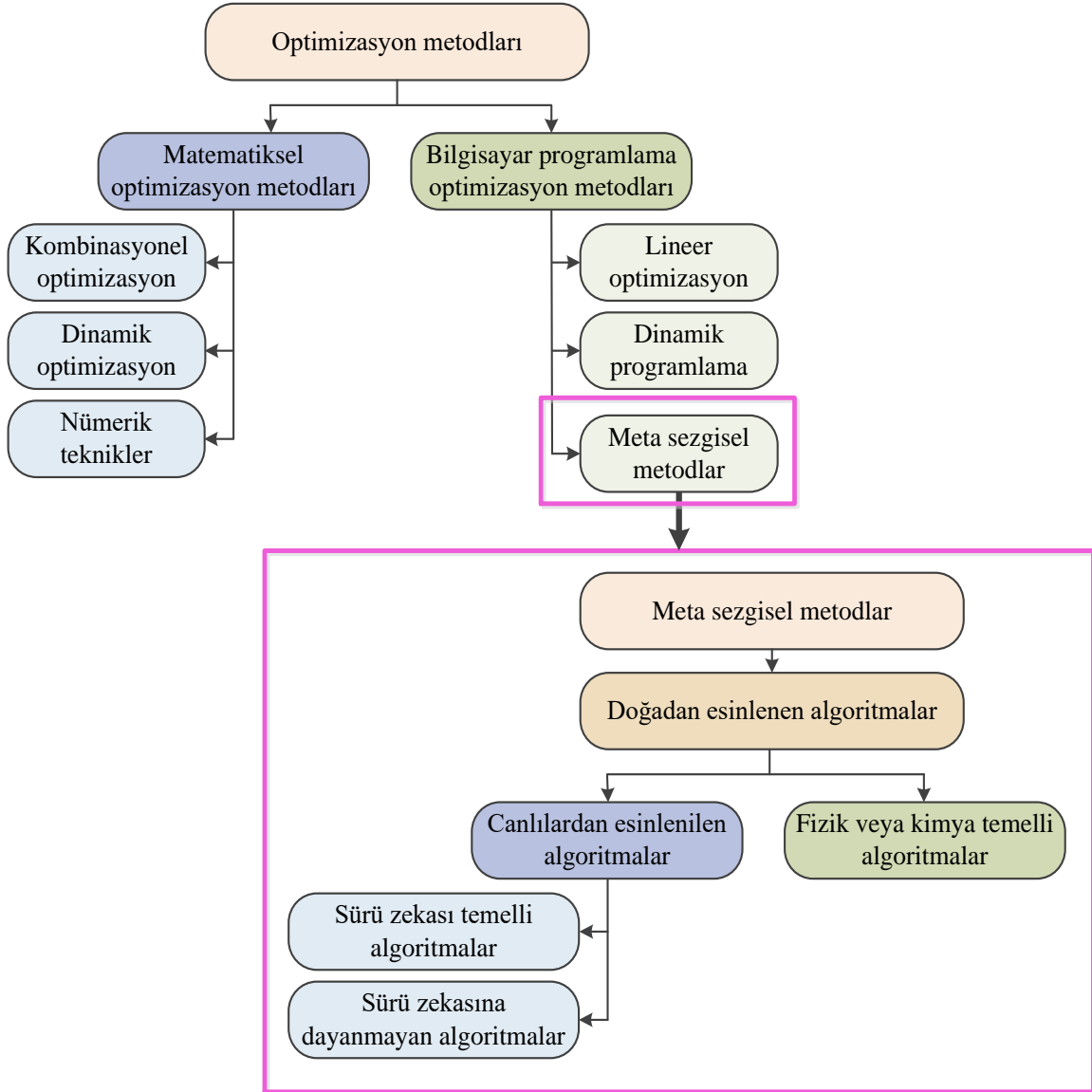


Şekil 4.4. Hibrit yenilenebilir enerji sistemlerinin boyutlandırma metotları

Bu metotlar klasik metotlar, yapay zeka metotları, hibrit metotlar ve yazılım araçları olmak üzere sınıflandırılabilir. Birkaç denemede optimum noktayı bulabilen klasik metotlar matematiksel yaklaşımları ve fonksiyonları kullanır ve bir kural bütününe ihtiyaç duyarlar. Yapay zeka metotları ise insan ve evrendeki çeşitli durumları referans alarak akıllı benzetimler yapmayı amaçlamaktadır. Klasik metotlara göre daha büyük ve karmaşık problemleri çözebilmektedir. Kesikli problemler ve tamamlanmamış veri setleri ile çalışabilirler. Birden fazla metot bir araya getirilip hibrit metot yaklaşımı ile kullanılabilirken yazılım araçları kullanılarak da boyutlandırma yapılabilir.

#### 4.2. Mikro şebekelerde meta sezgisel algoritmalar ile boyutlandırma optimizasyonu

Mikro şebekelerin optimizasyonu için çeşitli metotlar ve algoritmalar kullanılmaktadır. Bu algoritmalarda amaç dağıtık üreteçlerin en uygun kapasite ile çalışma ve tasarım koşullarının sınırlar dahilinde olmasını sağlamaktır. Mikro şebekelerin çalışması için belirlenen amaç ve sınırlandırmalar doğrultusunda tek amaçlı ya da çok amaçlı problemlerin optimizasyonun yapılması gereklidir. Bunun için optimizasyon metotları ve algoritmaları geliştirilmiştir. Optimizasyon algoritmaları; matematiksel ve bilgisayar programlama olarak ikiye ayrılmaktadır. Adı geçen bu optimizasyon metotları içinde meta sezgisel algoritmaların yeri şekil 4.5’de verilmiştir (Twaha ve Ramli, 2018).



Şekil 4.5. Optimizasyon metodları içinde meta sezgisel algoritmaların yeri

Optimizasyon algoritmaları içinde meta sezgisel algoritmaların tercih edilmesinin birçok sebebi vardır. Bunlardan önemli olan birkaçı belirtilecek olursa;

- Evrimden ve doğadan esinlenen meta sezgisel algoritmaların yapısı basittir ve çabuk öğrenilebilir.
- Geliştirilmeye müsait olan bu algoritmalar hibritlemeye olanak tanımaktadır.
- Algoritmanın genel yapısında büyük bir değişiklik yapmadan başka problemlere uygulanabilmesi esnekliğini sağlar.

- Türevden bağımsız mekanizması ile problemleri stokastik yani rastlantısal olarak çözer. Bu durum ile arama uzayının türevinin hesaplanmaması anlamına gelmektedir ve gerçek problemlere uygulanmasında avantaj sağlamaktadır.
- Çözüm arama yapısı stokastik bir yapıya dayandığı için lokal optimumlardan kaçınabilir.

Meta sezgisel algoritmalar içinde doğadan ve canlılardan esinlenen sürü zekası algoritmalarının bireysel algoritmalara göre birçok avantajı vardır. Bireysel algoritmalar ile bir sonuç iyileştirilir ve daha az sayıda fonksiyon değerlendirilir. Sürü zekâsı gibi kolektif algoritmalarda ise bir dizi sonuç iyileştirilir, daha fazla fonksiyon değerlendirilir ve lokal optimum noktalardan bu bireysel algoritmalara göre daha iyi kaçınır (Twaha ve Ramli, 2018).

Bu tez çalışmasında geliştirilen enerji optimizasyonu modelinin farklı sürü zekası algoritmalarında denenmesini sağlamak ve modelin doğruluğunu test ederek, sonuçta uygulanabilecek değişik algoritmalarda ortaya çıkan sonuçları değerlendirmek amacıyla PSOA, ABA, GKOA, BOA ve SSA olmak üzere beş optimizasyon algoritması incelenmiştir. Bu algoritmaların matematiksel ifadeleri ve genel kullanım mantıkları verilerek optimizasyon için ortaya konulan modelde uygulanması sağlanmıştır.

#### **4.2.1. Parçacık sürü optimizasyonu algoritması**

PSOA, 1995 yılında James Kennedy ve Russell Eberhart tarafından geliştirilmiştir. PSOA sürü halinde hareket eden balıklar ve böceklerden esinlenerek sürüdeki bireylerin çözüm geliştirmesini ele alan ve bu temel üzerine kurulan bir optimizasyon algoritmasıdır. Sürü içinde bulunan ve sürekli hareket halinde olan hayvanlar yiyecek bulma ve riskli durumlarda güvenliği sağlarken birbiriyle etkileşimli olarak çeşitli hareketler sergilemektedir. Bu hareketlerin sürüdeki diğer bireyleri etkilemesi ile belirlenen bir amaca daha kolay ve hızlı ulaşmayı sağladığı görülmüştür. Sürüde bulunan her bir birey parçacık ve bu parçacıkların bir arada bulunduğu topluluk sürü olarak isimlendirilir. Sürüde belirli bir konumda bulunan her parçacık geçmiş tecrübelerden ve sürüde en iyi pozisyona sahip olan parçacığın bilgisinden yararlanarak o yöne hareket eder. Bir sonraki konumunu en iyi durumda olan parçacığa göre güncellemeyi hedefler. Belirlenen parçacık sayısından oluşan

sürüde rastgele pozisyonlar ve hızlar tayin edilir. Sürüdeki her bir parçacığın uygunluk değeri hesaplanır ve yerel en iyi sonuçlar tespit edilir. Sonrasında tüm sürü en iyi yerel sonuçlar açısından değerlendirilir ve küresel en iyi değer belirlenir. Hız ve pozisyon güncellemeleri sırasıyla Denklem (4.1) ve Denklem (4.2) ile yapılır (Sigarchian vd., 2016, Al-Saedi, 2012).

$$V_{k+1}^i = w * V_k^i + [c_1 * r_1 * (P_k^i - X_k^i) + c_2 * r_2 * (P_k^g - X_k^i)] \quad (4.1)$$

$$X_{k+1}^i = X_k^i + V_{k+1}^i \quad (4.2)$$

Burada  $X_k^i$  ve  $X_{k+1}^i$  parçacıkların bulunulan konum ve sonraki iterasyon konumu,  $V_k^i$  ve  $V_{k+1}^i$  ise şimdiki hız ve bir sonraki adımdaki hız bilgileridir.  $P_k^i$  en iyi parçacık çözümü ve  $P_k^g$  ise en iyi küresel çözümdür.  $c_1$  parçacığın kendi tecrübelerine göre hareket etmesini temsil eden bilişsel öğrenme faktörü ve  $c_2$  ise bir parçacığın sürüdeki diğer parçacıkların tecrübelerine göre hareket etmesini sağlayan sosyal öğrenme parametreleridir. Bu parametreler genellikle ikiye yakın değerler seçilir.  $r_1$  ve  $r_2$  [0,1] aralığında değişen rastgele sayılardır.

#### **4.2.2. Ateş böceği algoritması**

ABA, Xin-She Yang tarafından 2008 yılında önerilmiştir. Bu algoritma ile ateş böceklerinin flaş şeklinde ani ışık üretmesi ve etraflarında olan diğer canlıları etkilemesi süreci taklit edilmektedir. Ateş böcekleri biyolojik içerikli ani ışıklarını üreme için eş seçimlerinde ve avlanma süreçlerinde tuzağa düşürmek amacıyla kullanılmaktadır. Ateş böceklerinin ritmik ışıkları ve mesafe ters kare yasası ile ilişkilendirildiğinde ışık kaynağından belirli mesafeden uzaklaşıldıkça ışık yoğunluğu azalır. Mesafe ve ışık yoğunluğu arasında ters yönlü bir ilişki vardır. Ateş böceklerinin belirli bir mesafede birbirini etkileme, çekme ve haberleşme ilişkileri üzerinden optimizasyon problemlerine çözüm aranmış ve FA'nın amaç fonksiyonu olarak daha canlı ve parlak ritmik ışıklara yönelme eğilimi kullanılmıştır. Bu algorithmada ateş böceklerinin cinsiyeti olmadığı ve ışığın parlaklığı ile doğru orantılı olarak diğer ateş böcekleri tarafından çekildiği kabul edilmiştir. Işığın yoğunluğu ve ateş böceklerinin çekiciliği formüle edilmiştir. Belirli bir ışık kaynağından  $r$  kadar mesafedeki ışık şiddeti Denklem (4.3) ile hesaplanmıştır. Pratikte



ışığın yayılırken emilmesi denkleme sabit bir ışık emilim katsayısı eklenerek gerçekleştirilir. Ayrıca ışık şiddeti ve mesafenin sıfır olması durumunda Denklem (4.3) tanımsız olacağı için Denklem (4.4) kullanılır ve gauss dağılımından faydalanılır. Burada,  $I_S$  ışık kaynağı,  $r$  mesafe ve  $\gamma$  ise sabit bir ışık emilim katsayısını temsil etmektedir.

$$I(r) = \frac{I_S}{r^2} \quad (4.3)$$

$$I(r) = I_0 e^{-\gamma r^2} \quad (4.4)$$

Ateş böceklerinin çekiciliği Denklem (4.5) ile verilmiş olup hesaplama kolaylığı açısından Denklem (4.6) kullanılmıştır. Burada  $\beta_0$  iki ateş böceği arasındaki mesafe sıfır olduğunda çekiciliği ifade eder.  $\beta(r)$  ise  $\beta_0$  çekicilik değerindeki ateşböceğinin  $r$  kadar mesafedeki çekicilik değerini gösterir ve Denklem (4.7) ile hesaplanır. Denklem (4.8)'de sabit olan  $\gamma$  değerine bağlı uzunluk ile ilgili karakteristik verilmiştir.  $\Gamma$  uzunluk ölçütü olarak kullanılabilir ve Denklem (4.9)'da verilmiştir.

$$\beta = \beta_0 e^{-\gamma r^2} \quad (4.5)$$

$$\beta = \frac{\beta_0}{1 + \gamma r^2} \quad (4.6)$$

$$\beta(r) = \beta_0 e^{(-\gamma r^m)}, m \geq 1 \quad (4.7)$$

$$\Gamma = \gamma^{\frac{-1}{m}} \rightarrow 1, m \rightarrow \infty \quad (4.8)$$

$$\gamma = \frac{1}{\Gamma^m} \quad (4.9)$$

İki ateş böceğinin konumları  $x_i$  ve  $x_j$  olarak kabul edildiğinde aradaki mesafe Denklem (4.10) ile hesaplanır.

$$r_{ij} = |x_i - x_j| = \sqrt{\sum_{k=1}^d (x_{ik} - x_{jk})^2} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (4.10)$$

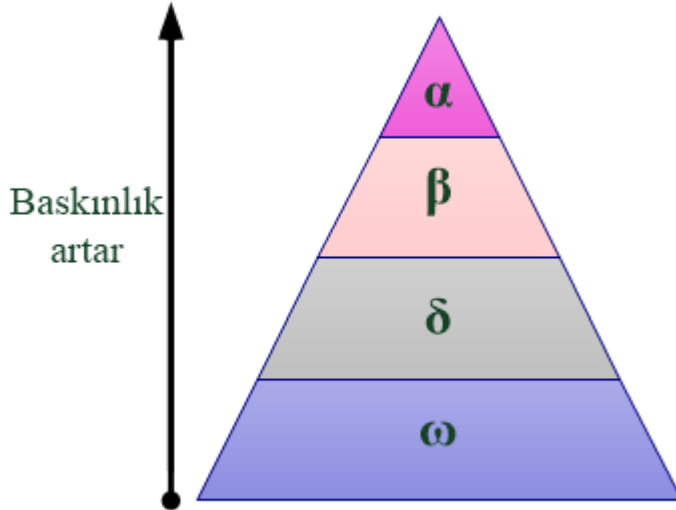
Ateş böceklerinin daha parlak ateş böceğine çekicilik özelliği ile yönelmesi ile güncellenen yeni konum Denklem (4.11) ile hesaplanmıştır.

$$x_i^{t+1} = x_i + \beta_0 e^{(-\gamma r_{ij}^2)} (x_j - x_i) + \alpha \left( rand - \frac{1}{2} \right) \quad (4.11)$$

Burada  $\beta_0$  değeri genellikle 1 kabul edilir. Rastlantı parametresi  $\alpha$  ve rastgele sayıları ifade eden  $[0,1]$  aralığında değerler alır (Kaabeche vd., 2017; Alomoush vd., 2018; Satapathy vd., 2016; Othman vd., 2016).

### **4.2.3. Gri kurt optimizasyon algoritması**

GKOA, Seyedali Mirjalili, Seyed Mohammad Mirjalili ve Andrew Lewis tarafından 2014 yılında önerilmiştir. GKOA için besin zincirinin üstlerinde yer alan ve sürü halinde yaşayan gri kurtlardan esinlenilmiştir. Gri kurtların avın peşine düşme, izleme, yaklaşma, etrafını sararak kuşatma, yıldırma ve avlanma davranışlarından esinlenerek geliştirilmiştir. Gri kurtlar alfa, beta, delta ve omega olmak üzere dört sınıftan oluşan bir hiyerarşik yapıya sahiptirler. Bu hiyerarşik yapı şekil 4.6'da verilmiştir. Hiyerarşinin birinci basamağında yer alan, dişi yâda erkek olabilen alfa kurtlar sürü lideri olarak birçok görevi üstlenirler. Baskın olan bu kurtların emirleri sürü tarafından yerine getirilir. Sürüyü yönetme kabiliyetine sahip olan alfa kurtlar avlanmaya karar verme, uyuma mekânları ve uyanma gibi birçok karar verici temel görevlerden sorumludurlar. Hiyerarşik yapının ikinci basamağında yer alan beta kurtlar alfa kurtlara danışmanlık yaparlar, emirleri yerine getirir ve sürüden alınan geri bildirimleri alfa kurtlara aktarırlar. Alfa kurt olma adayı olan beta kurtlar karar verme gibi birçok konuda alfa kurtların yardımcısı pozisyonunda olan kurtlardır. Sınırları takip edip tehlikeli durumlarda sürüyü uyaran izciler, sürüyü koruyan nöbetçiler, alfa ve beta tarafından bilgileri kullanılan yaşlılar, sürü için av avlayan avcılar, yaşlılar ve hastalara bakan bakıcılar delta kurtlardan oluşmaktadır. Hiyerarşik yapının en son basamağında yer alan omega kurtlar ise yemek yeme sırası da dâhil her konuda sürüde en sonda yer almasına rağmen omega kurtlarını kaybeden sürüde karışıklık çıktığı gözlenmiştir. Bu kurtlar bebek bakıcılığı gibi birçok görevi yerine getirirler.



Şekil 4.6. Gri kurtlarda hiyerarşik yapı

GKOA algoritmasında sosyal hiyerarşi, avı kuşatma ve avlanma davranışlarından benzetim yapılarak matematiksel olarak üç aşamada modellenir. En iyi sonucun elde edilmesi kurtların sosyal hiyerarşik düzenine benzetilmiştir. En iyi sonuç alfa, ikinci ve üçüncü en iyi sonuç ise sırasıyla beta ve delta olup geriye kalan sonuçlar ise omega olarak isimlendirilmiştir. Gri kurtlar yemekleri için avlarını kuşatırlar. Avlarını kuşatma yaklaşımı Denklem (4.12)-(4.16) ile ifade edilmiştir. Burada,  $\vec{D}$  av ve gri kurt arasındaki mesafe,  $\vec{X}_p$  avın pozisyonu,  $\vec{X}$  bir gri kurtun pozisyonu,  $t$  şimdiki iterasyon,  $\vec{A}$  ve  $\vec{C}$  ise katsayı vektörlerini temsil etmektedir.  $\vec{a}$  iterasyon süresince 2'den 0'a azalmaktadır.  $\vec{r}_1$  ve  $\vec{r}_2$  [0,1] aralığında değişen rastgele sayılardır.

$$\vec{D} = \left| \vec{C} \times \vec{X}_p(t) - \vec{X}(t) \right| \quad (4.12)$$

$$\vec{X}(t+1) = \vec{X}_p(t) - \vec{A} \times \vec{D} \quad (4.13)$$

$$\vec{A} = 2 \times \vec{a} \times \vec{r}_1 - \vec{a} \quad (4.14)$$

$$\vec{a} = 2 - t \times \frac{2}{\text{Maksimum iterasyon}} \quad (4.15)$$

$$\vec{C} = 2 \times \vec{r}_2 \quad (4.16)$$

Gri kurtlar avlanırken avın konumu tanıma kabiliyetine sahiptir. Avlanma sürecini alfa kurt yönetir ve alfa kurt en iyi çözümü sunarken beta ve delta kurtlar sırasıyla en iyi ikinci ve üçüncü çözümü temsil ederler. Elde edilen en iyi üç çözüm kaydedilir ve omega

kurtları da kapsayan diğer kurtlar pozisyonlarını en iyi çözüme göre güncellerler. Gri kurtların avlanma süreci Denklem (4.17)-(4.23) ile ifade edilmiştir. Burada  $\vec{D}_\alpha$ ,  $\vec{D}_\beta$  ve  $\vec{D}_\delta$  sırasıyla alfa, beta ve delta kurtların ava uzaklığı ve  $\vec{X}_\alpha$ ,  $\vec{X}_\beta$  ve  $\vec{X}_\delta$  ise sırasıyla alfa, beta ve delta kurtların pozisyon vektörleridir. Bir sonraki pozisyonu ifade eden  $\vec{X}(t+1)$  için alfa, beta ve delta kurtların çözümlerinin ortalaması alınır ve diğer arama ajanları pozisyonlarını bu bilgiye göre günceller.

$$\vec{D}_\alpha = |\vec{C}_1 \times \vec{X}_\alpha - \vec{X}| \quad (4.17)$$

$$\vec{D}_\beta = |\vec{C}_2 \times \vec{X}_\beta - \vec{X}| \quad (4.18)$$

$$\vec{D}_\delta = |\vec{C}_3 \times \vec{X}_\delta - \vec{X}| \quad (4.19)$$

$$\vec{X}_1 = \vec{X}_\alpha - \vec{A}_1 \times \vec{D}_\alpha \quad (4.20)$$

$$\vec{X}_2 = \vec{X}_\beta - \vec{A}_2 \times \vec{D}_\beta \quad (4.21)$$

$$\vec{X}_3 = \vec{X}_\delta - \vec{A}_3 \times \vec{D}_\delta \quad (4.22)$$

$$\vec{X}(t+1) = \frac{\vec{X}_1 + \vec{X}_2 + \vec{X}_3}{3} \quad (4.23)$$

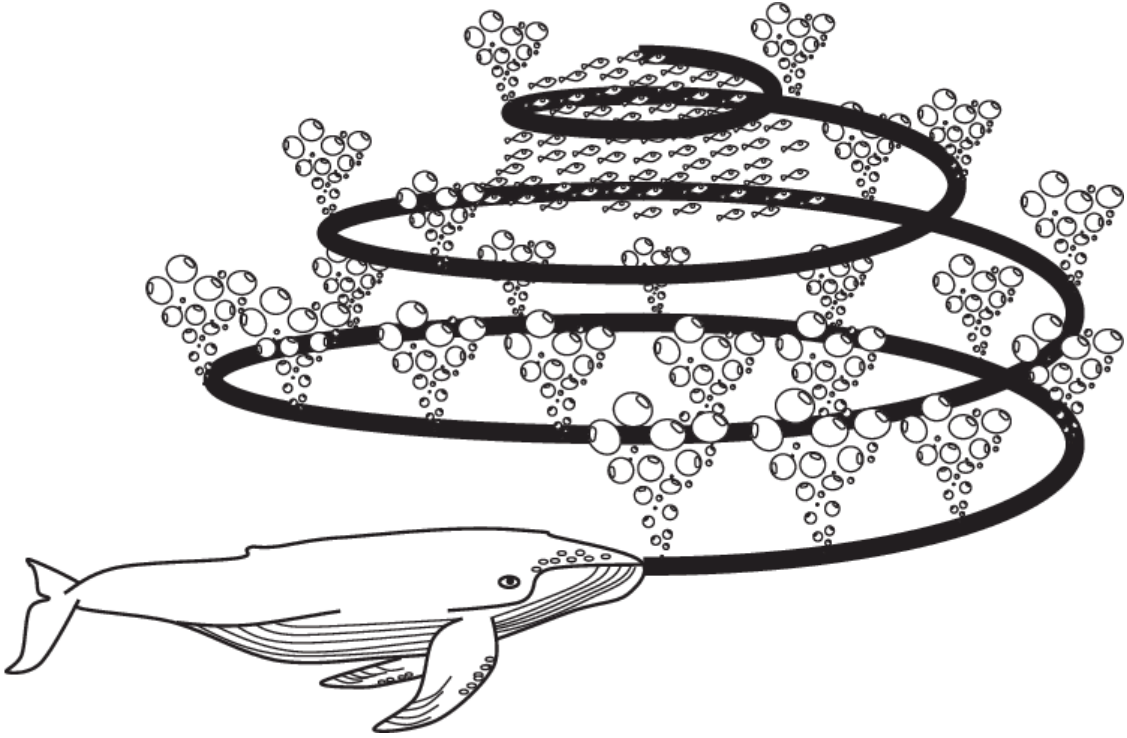
Avlanma ava saldırılmasıyla sonuçlanır.  $[-1,1]$  aralığında değerler alabilen  $\vec{A}$ ,  $\vec{a}$ 'nın 2'den 0'a azalması sonucunda  $\vec{A}$   $[-2\vec{a}, 2\vec{a}]$  aralığında değişim gösterir.  $\vec{A}$ 'nın 1'den küçük olduğu durumlarda ava saldırmaya ve diğer durumda ise gri kurtlar avdan uzaklaşmaya zorlanır.  $[0, 2]$  aralığında değerler alabilen ve av ile gri kurt arasında mesafeye vurgu yapmak için  $\vec{C}$  parametresi kullanılır, ava bir ağırlık eklenir ve ilk iterasyondan son iterasyona kadar arama yapmaya devam edilir.  $\vec{C} > 1$  olduğunda avın önemi vurgulanır ve  $\vec{C} < 1$  olduğunda ise avın önemi azaltılır.

GKOA algoritmasında arama süreci rastgele bir popülasyon oluşturularak başlatılır. İterasyon süresince alfa, beta ve delta kurtlar avın tahmini pozisyonunu tahmin ederler. Her aday çözüm, ava olan mesafesine göre kendini günceller. Kullanılan parametreler ile yakınsama veya arama durumuna karar verilir ve sonlandırma kriterine erişilince algoritma sonlandırılır (Mirjalili vd., 2014; Miao vd., 2020; Saxena vd., 2020).

#### 4.2.4. Balina optimizasyon algoritması

BOA, Seyedali Mirjalili ve Andrew Lewis tarafından 2016 yılında önerilmiştir. BOA'da düşünebilen, öğrenebilen, karar verebilen, iletişim kurabilen ve duygusal davranabilen en büyük memelilerden olan ve avcı kategorisinde yer alan kambur balinalardan esinlenilmiştir. Yalnız yâda gruplar halinde yaşayabilen balinaların sosyal davranışları insanların sosyal davranışlarına benzerlik göstermektedir. Bazı balina türleri aile edinip ömür boyu bu aile yapısı ile beraber yaşamasıyla insanların sosyal yaşamına benzetilmektedir.

Kambur balinalar baloncuk ağı beslenme ile isimlendirilen özel bir beslenme ile beslenirler. Daire yâda dokuz şeklindeki bir formda aralıklı olarak baloncuklar oluştururlar. Yukarı doğru spiral ve çift döngü olmak üzere iki manevra ile baloncuk beslenmeyi gerçekleştirirler. Yukarı doğru spiralde balinalar 12 metre civarında dalarlar ve av etrafında spiral şeklinde baloncuk oluşturmaya başlayarak yüzeye doğru yüzerler. Anlatılan ve algoritmanın esinlendiği kambur balinaların avlanma modelleri şekil 4.7'de verilmiştir.



Şekil 4.7. Kambur balinaların avlanma yöntemleri

Kambur balinaların avlanmasından esinlenen BOA algoritmasında matematiksel olarak avın kuşatılması, baloncuk ağı beslenme ve avı arama olarak modellenmiştir. Balinalar avın konumunu tanıma ve kuşatma eğilimindedirler. Av ile ilgili bir ön bilgi yoksa balina optimizasyon algoritması şimdiki en iyi aday çözüm hedef av olarak tanımlanır. En iyi çözüm tanımlandıktan sonra diğer ajanlar pozisyonlarını güncellerler. Bu güncelleme işlemi Denklem (4.24)-(4.28) ile gerçekleştirilir. Burada,  $\vec{D}$  av ve balina arasındaki mesafe,  $\vec{X}^*$  bu zamana kadar elde edilen ve her iterasyonda güncellenen en iyi pozisyon vektörü,  $\vec{X}$  pozisyon vektörü,  $t$  şimdiki iterasyon,  $\vec{A}$  ve  $\vec{C}$  ise katsayı vektörlerini temsil etmektedir.  $\vec{a}$  iterasyon süresince 2'den 0'a azalmaktadır.  $\vec{r}$  [0,1] aralığında değişen rastgele sayıdır.

$$\vec{D} = |\vec{C} \times X^*(t) - \vec{X}(t)| \quad (4.24)$$

$$\vec{X}(t+1) = X^*(t) - \vec{A} \times \vec{D} \quad (4.25)$$

$$\vec{A} = 2 \times \vec{a} \times \vec{r} - \vec{a} \quad (4.26)$$

$$\vec{a} = 2 - t \times \frac{2}{\text{Maksimum iterasyon}} \quad (4.27)$$

$$\vec{C} = 2 \times \vec{r} \quad (4.28)$$

Baloncuk ağı beslenme daralarak kuşatma mekanizması ve spiral pozisyon güncellemesi olarak iki yaklaşım ile gerçekleştirilir. Daralarak kuşatma mekanizması  $\vec{a}$  parametresinin azaltılmasıyla gerçekleştirilir. Spiral pozisyon güncellemesi Denklem (4.29)-(4.30) ile gerçekleştirilir. Balina ve av arasında ki mesafe hesaplanır ve bir sonraki adım için sarmal şekilde hareket gerçekleştirilir. Burada  $b$  sabit bir katsayı iken  $l$  [-1,1] aralığında değişen rastgele bir sayıdır.

$$\vec{X}(t+1) = \vec{D}' \times e^{b \times l} \times \cos(2 \times \pi \times l) \times X^*(t) \quad (4.29)$$

$$\vec{D}' = |X^*(t) - \vec{X}(t)| \quad (4.30)$$

Daralarak kuşatma mekanizması ve spiral pozisyon güncellemesi balinalarda anlık bir kararla gerçekleştirilir. Balinaların ava yaklaşımında %50 daralarak yaklaşma ve %50'de spiral biçimde hareket edeceği varsayılarak [0,1] aralığında değişen  $p$  parametresi eklenmiştir. Denklem (4.31) kullanılarak balinaların rastgele verdiği bu karar simule edilmiştir.

$$\overrightarrow{X}(t+1) = \begin{cases} X^*(t) - \vec{A} \times \vec{D}, & p < 0,5 \\ \vec{D} \times e^{b \times l} \times \cos(2 \times \pi \times l) \times X^*(t), & p \geq 0,5 \end{cases} \quad (4.31)$$

Avı aramada tek bir noktaya odaklanmak yerine referans alınan balinanın ötesine de geçilebilmesi için  $\vec{A}$  parametresi kullanılmıştır.  $\vec{A}$  1'den küçük olduğunda pozisyon güncellemesi için en iyi sonuçlar kullanılırken,  $\vec{A}$ 'nın 1'den büyük olduğunda durumlarda ise global aramaya olanak tanınması için bu zamana kadar bulunan en iyi çözüm yerine rastgele bir balınaya göre pozisyon güncellemesi yapılır. Güncelleme Denklem (4.32)-(4.33) ile gerçekleştirilir.

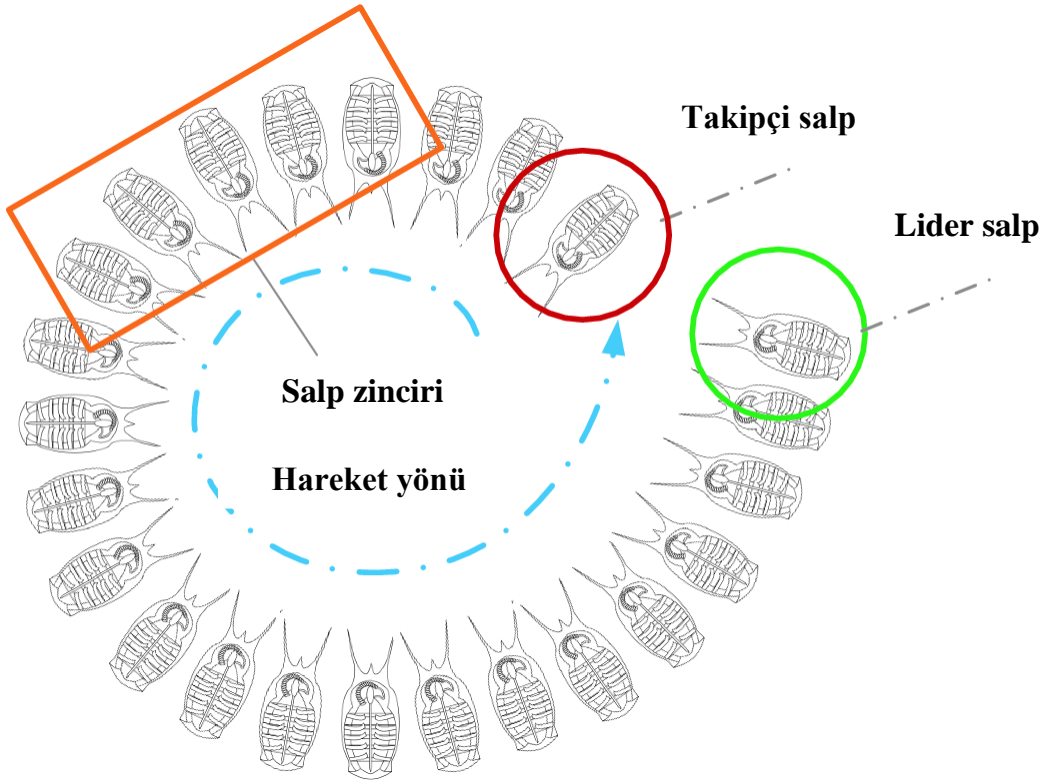
$$\vec{D} = |\vec{C} \times \overrightarrow{X}_{rand} - \vec{X}| \quad (4.32)$$

$$\overrightarrow{X}(t+1) = \overrightarrow{X}_{rand} - \vec{A} \times \vec{D} \quad (4.33)$$

BOA rastgele bir çözüm kümesi ile başlar. Her bir iterasyonda ajanlar ya rastgele seçilen ajana göre yâda bu zamana kadar elde edilen en iyi çözüme göre pozisyonlarını günceller.  $\vec{a}$  parametresinin 2'den 0'a doğru azalması av yaklaşma yada avdan uzaklaşım global çözümleri arama konusunda algoritmayı yönlendirir.  $p$  parametresi daralarak kuşatma yada spiral hareket konusunda karar verici olarak davranır (Mirjalili ve Lewis, 2016; Qais, vd., 2020, Guo, vd., 2020).

#### **4.2.5. Salp sürü algoritması**

SSA, Seyedali Mirjalili, Amir H. Gandomi, Seyedeh Zahra Mirjalili, Shahrzad Saremi, Hossam Faris ve Seyed Mohammad Mirjalili tarafından 2017 yılında önerilmiştir. SSA fiçi şeklinde şeffaf balıklara benzeyen, suyu beslenme filtrelerinden geçirerek ilerleyen ve planktonları yiyen deniz salplarından esinlenilmiş bir algoritma yapısıdır. Büyük bir grupta yaşayan salplar vücutlarını zincirleme şekilde birbirlerine bağlarlar ve beraber beslenip beraber büyürler. Salp zincirlerinin matematiksel olarak modellenmesi için popülasyon lider ve takipçiler olarak iki gruba bölünür. Lider, salp zincirinin en önünde yer alır, geri kalan salplar ise takipçi olarak adlandırılır. SSA ile ilgili salpların davranış modellenmesi şekil 4.8'de verilmiştir (Mirjalili vd., 2017).



Şekil 4.8. Salp sürülerinin davranış şekilleri

Lider salpın pozisyonu Denklem (4.34)-(4.35) ile güncellenir ve sadece lider salp yiyecek kaynağına göre pozisyon güncellemesi yapar. Burada  $X_j^i$  lider salpın pozisyonu,  $F_j$  yiyecek kaynağının pozisyonu,  $ub_j$  üst limit,  $lb_j$  alt limit,  $c_2$  ve  $c_3$  ise  $[0,1]$  aralığında değişen rastgele sayılardır.  $c_1$  salp sürü algoritmasının en önemli parametresidir. Bu parametre ile yakınsama ve araştırma arasında denge sağlanır. Burada  $l$  şimdiki iterasyon ve  $L$  maksimum iterasyon sayısıdır. Takipçilerin pozisyonu Denklem (4.36) kullanılarak güncellenir.

$$X_j^i = \begin{cases} F_j + c_1 \times ((ub_j - lb_j) \times c_2 + lb_j), & c_3 \geq 0 \\ F_j - c_1 \times ((ub_j - lb_j) \times c_2 + lb_j), & c_3 < 0 \end{cases} \quad (4.34)$$

$$c_1 = 2 \times e^{-((4 \times l)/L)} \quad (4.35)$$

$$X_j^i = \frac{1}{2} \times (X_j^i + X_j^{i-1}) \quad (4.36)$$



SSA elde edilen en iyi çözümlü kaydeder ve bunu yiyecek kaynağı olarak tanımlar. Algoritmada lider salp yakınsama ve arama arasındaki dengeyi araştırır ve sadece lider salp elde edilen en iyi sonuç olarak adlandırılan yiyecek kaynağına göre pozisyon güncellemesi yapar. Takipçiler birbirlerine göre pozisyonlarını günceller ve kademeli olarak lider salpa doğru hareket ederler. Bu kademeli yakınsama ile lokal optimum noktalara takılma ve erken yakınsamanın önüne geçilmiş olur (Mirjalili vd., 2017; El-Sehiemy, vd., 2020; Tubishat, vd., 2020; Neggaz, vd., 2020).

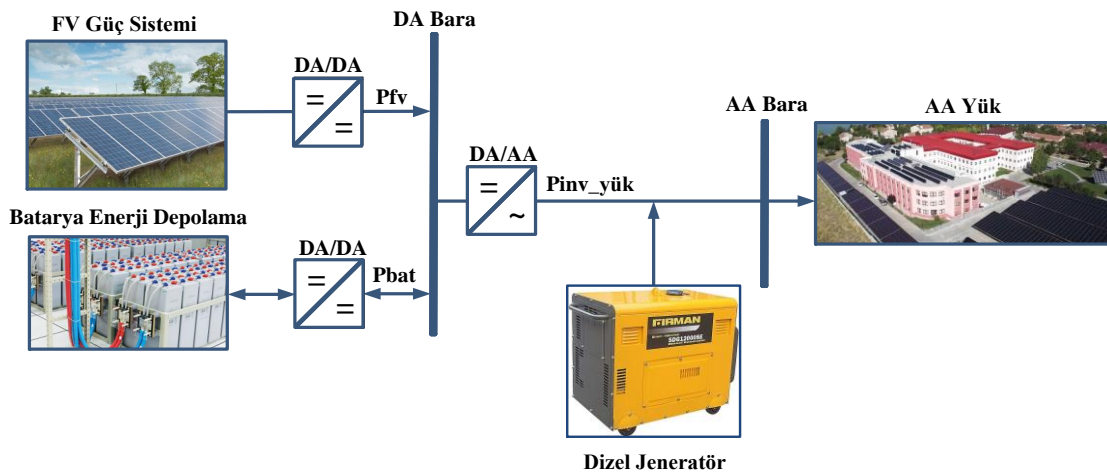
Bu bölümde mikro şebekelerin optimal tasarım sürecinin işletilme aşamaları anlatılmıştır. Bu tasarım sürecinin en önemli bölümünü oluşturan boyutlandırma optimizasyonu üzerine yoğunlaşarak PSO, ABA, GKO, BOA ve SSA olmak üzere seçilen beş meta sezgisel algoritmanın teorik ve matematiksel alt yapıları verilmiştir.

## 5. YÖNTEM

Bu bölümde optimal tasarım için önerdiğimiz ada modlu bir hibrit mikro şebekenin tasarımı verilmiştir. Bu kapsamda bu bölüm, önerilen ada modlu bir mikro şebekenin tasarımı, mikro şebekenin bileşenleri, mikro şebekenin enerji yönetim stratejisi, ekonomik ve güvenilirlik değerlendirme kriterleri ile amaç fonksiyonu olmak üzere dört alt başlıkta incelenmiştir.

### 5.1. Önerilen Ada Modlu Bir Mikro Şebekenin Tasarımı

Bu tez çalışmasında şebeke bağlantısı olmayan ve ada modlu çalışan bir mikro şebeke önerilmiş ve tasarlanmıştır. Tasarlanan mikro şebeke sistemi şekil 5.1’de verilmiştir. Bu mikro şebeke; FV güç sistemi, enerji depolama birimi olarak kullanılan bataryalar, dizel jeneratör ve yük bileşenlerinden oluşmaktadır. FV güç sistemi ve bataryalar DA/DA dönüştürücü üzerinden DA baraya bağlanmıştır. DA bara evirici ile AA baraya bağlanmıştır. AA barada ise dizel jeneratör ve yük bileşenleri mevcuttur. Yenilenebilir enerji kaynağının ürettiği elektrik enerjisi mevsimsel koşullara göre değişkenlik göstermektedir. Bu sebeple ada modlu çalışan mikro şebekede sistemin enerji sürekliliğini sağlamak için dizel jeneratör ve elektrik enerjisine erişimin hiç olmadığı kabul edilen kötü durum senaryoları için otonom çalışma kabiliyetine sahip olan bataryalar kullanılmıştır.



Şekil 5.1. Önerilen ada modlu mikro şebeke sistemi

## 5.2. Mikro Şebekenin Bileşenleri

Mikro şebeke FV güç sistemi, batarya, dizel jeneratör, yük ve evirici bileşenlerinden oluşmaktadır. Mikro şebekede yer alan bileşenler ve bu bileşenlerin teknik ve ekonomik özellikleri alt başlıklarda incelenmiştir.

### 5.2.1. FV güç sistemi

FV güç sisteminden üretilen elektrik enerjisi modülün çıkış gücü, ışınım ve sıcaklık gibi birçok parametreye bağlı olup Denklem (5.1)'de verilmiştir.

$$P_{FV}(t) = P_{FV\_nom} \times \frac{G(t)}{G_{STC}} \times [1 + K_t \times (T_{amb} + (0,0256 \times G(t))) - T_{STC}] \quad (5.1)$$

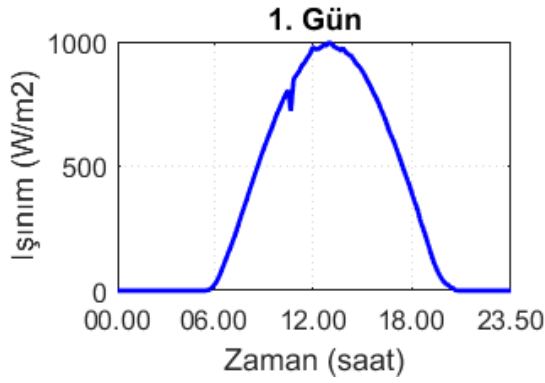
Burada,  $P_{FV}(t)$  FV modülün çıkış gücü (W),  $P_{FV\_nom}$  FV modülün standart test koşullarındaki nominal gücü (W),  $G(t)$  solar ışınım ( $W/m^2$ ),  $G_{STC}$  ise standart test koşullarındaki ışınım değeridir ve  $1000 W/m^2$  alınır.  $T_{STC}$  standart test koşullarındaki hücre sıcaklığı ve  $K_t$  sabit bir sıcaklık katsayısı olup sırasıyla  $25^\circ C$  ve  $-3.7 \times 10^{-3} (1/^\circ C)$  değerlerine sahiptir.  $T_{amb}$  ise ortam sıcaklığıdır ( $^\circ C$ ) [Homer, 2019].

FV güç sisteminin teknik ve ekonomik özellikleri Çizelge 5.1'de verilmiştir. Çizelgede görülen yatırım maliyeti FV sistemin ekonomik olarak değerlendirmesinde kullanılacaktır. İşletme ve bakım maliyeti yatırım maliyetinin %20'si olarak belirlenmiştir. FV güç sistemleri uzun ömürlü proje yatırımlarıdır ve bu çalışma için yaşam ömrü 24 yıl seçilmiştir. FV panellerin yatırım maliyeti için güncel fiyatlardan faydalanılmış ve  $500 \$/kW$  olarak belirlenmiştir. FV güç sisteminden enerji depolama birimlerine giden enerjiyi FV regülatör veya solar şarj kontrol cihazları yönetmektedir. Yatırım maliyeti verilen FV regülatörün verimi %94 ile %97 aralığında değişim göstermekle birlikte bu çalışma için %95 kabul edilmiştir.

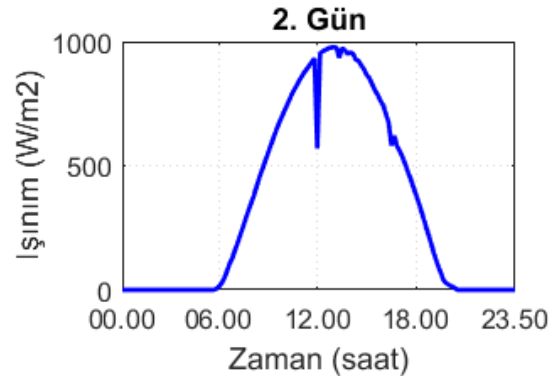
Çizelge 5.1. FV güç sisteminin teknik ve ekonomik özellikleri

Bileşen	Parametre	Değer	Birim
FV	Yaşam süresi	24	Yıl
	Yatırım maliyeti	500	\$/kW
	FV regülatör maliyeti	1500	\$
	FV regülatör verimi	95	%

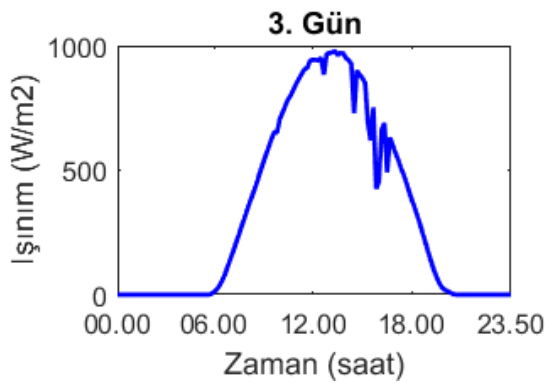
Işınım ve sıcaklığın zamana göre değişimi ile FV güç sisteminden üretilen enerji değişkenlik gösterir. Bu tez çalışmasında yapılan analizlerde Gazi Üniversitesi Teknopark'ta yer alan meteoroloji istasyonundan alınan beş günlük gerçek ışınım ve sıcaklık verileri kullanılmıştır.



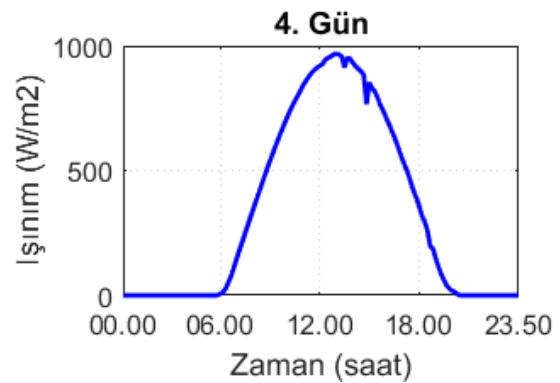
(a) 1. güne ait ışınım verisi



(b) 2. güne ait ışınım verisi

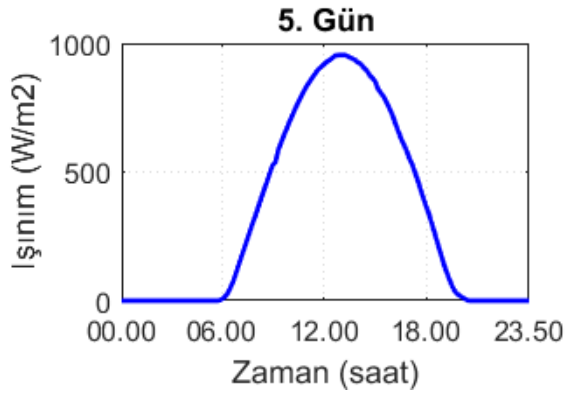


(c) 3. güne ait ışınım verisi

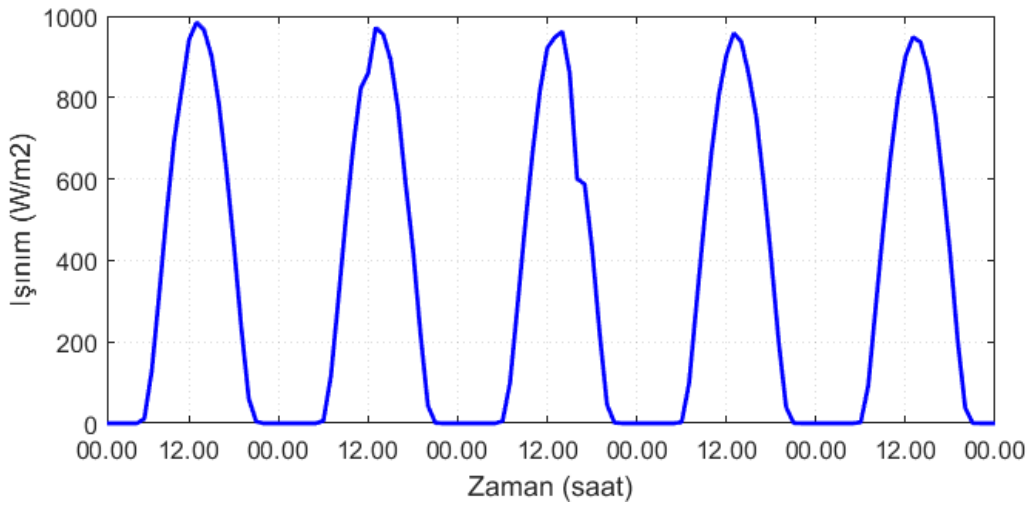


(d) 4. güne ait ışınım verisi

Şekil 5.2. Işınım verileri



(e) 5. güne ait ışınım verisi



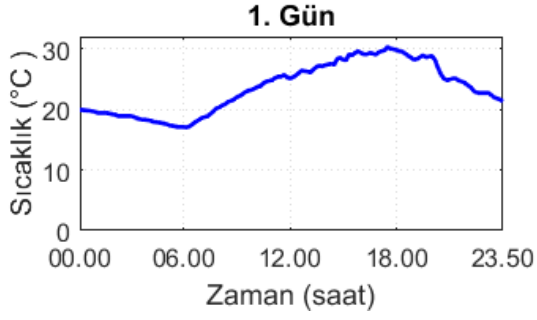
(f) Beş günlük ışınım verisi

Şekil 5.2. Işınım verileri (devamı)

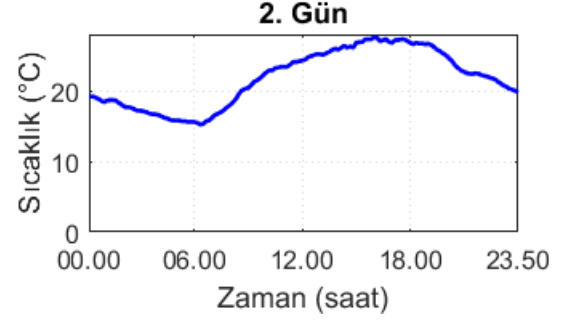
Bu beş günlük veri grubu bir yıl boyunca 73 kez birbirini tekrarlayacak şekilde kullanılarak bir yıllık veri setini oluşturmuştur. 10 dakika aralıklarla kaydedilen global ışınım verileri şekil 5.2(a)-(e)'de verilmiştir. 10 dakikalık periyotlardan oluşan ışınım verileri bir saatlik zaman dilimine çevrilerek kullanılmıştır. 0 W/m<sup>2</sup> ile 984,33 W/m<sup>2</sup> aralığında değişim gösteren ve mikro şebekede kullanılan beş günlük ışınım verisi şekil 5.2(f)'de verilmiştir.

Işınım verisine ek olarak 10 dakika aralıklarla kaydedilen sıcaklık verilerinin gün bazındaki 10 dakikalık değişimi ise şekil 5.3(a)-(e)'de verilmiştir. 10 dakikalık periyotlardan oluşan sıcaklık verileri bir saatlik zaman dilimine çevrilerek kullanılmıştır. 15°C ile 31,3°C

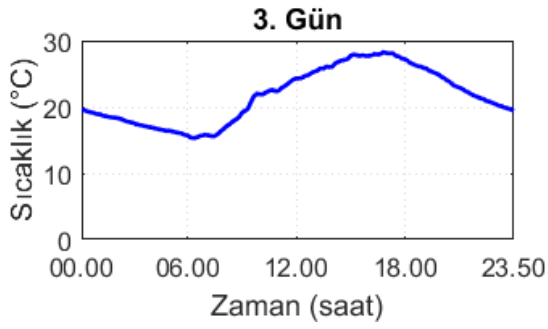
aralığında değişim gösteren ve mikro şebekede kullanılan beş günlük sıcaklık verisi şekil 5.3(f)'de verilmiştir.



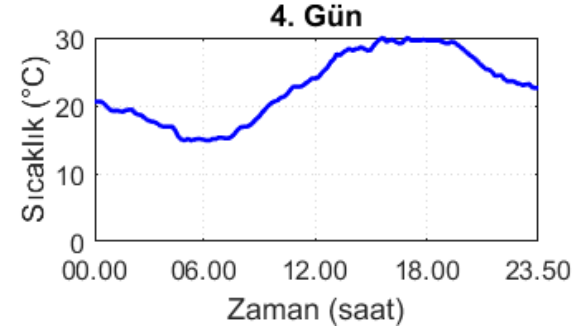
(a) 1. güne ait sıcaklık verisi



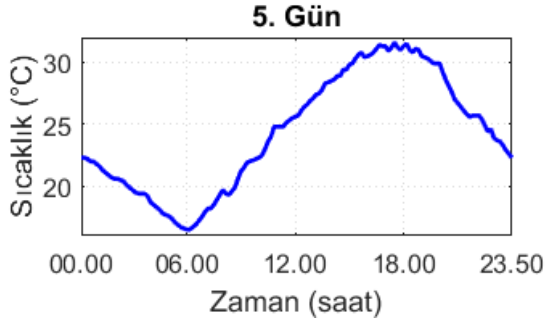
(b) 2. güne ait sıcaklık verisi



(c) 3. güne ait sıcaklık verisi

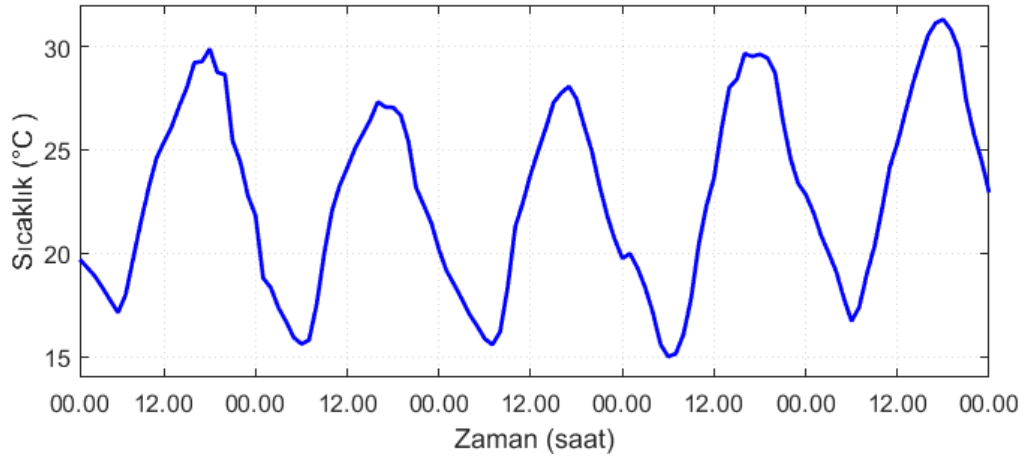


(d) 4. güne ait sıcaklık verisi



(e) 5. güne ait sıcaklık verisi

Şekil 5.3. Sıcaklık verileri



(f) Beş günlük sıcaklık verisi

Şekil 5.3. Sıcaklık verileri (devamı)

### 5.2.2. Batarya enerji depolama birimi

Bataryanın herhangi zamanındaki ( $t$ ) durumu bir önceki zamandaki ( $t - 1$ ) şarj durumuna, sistemin enerji üretimine ve yük tüketimine bağlıdır. Batarya kapasitesi ile ilgili sınırlamalar Denklem (5.2) ve Denklem (5.3)'de verilmiştir.

$$E_{bat\_min} < E_{bat} < E_{bat\_max} \quad (5.2)$$

$$E_{bat\_min} = (1 - DOD) \times E_{bat\_max} \quad (5.3)$$

Burada bataryanın o anki enerji seviyesini gösteren  $E_{bat}$ , bataryanın izin verilen minimum ve maksimum enerji depolama kapasiteleri olan  $E_{bat\_min}$  ve  $E_{bat\_max}$  arasında yer alır. Bataryanın minimum depolama kapasitesi ise deşarj derinliği (DOD) ile ilgilidir. Sistemde ki bataryanın kapasitesi, yükün enerji talebine, otonom çalışma gün sayısına, deşarj derinliğine ve evirici ve bataryanın verimliliğine bağlı olarak Denklem (5.4) ile belirlenir.

$$C_{Bat} = \frac{E_{yük} \cdot AD}{DOD \cdot \eta_{inv} \cdot \eta_{bat}} \quad (5.4)$$

Burada,  $C_{Bat}$  bataryanın enerji depolama kapasitesi (kWh),  $E_{Yük}$  yükün enerji talebi (kWh),  $AD$  bataryanın otonom çalışabileceği gün sayısı (genel olarak 3-5 gün), DOD deşarj derinliği,  $\eta_{inv}$  ve  $\eta_{bat}$  sırasıyla eviricinin ve bataryanın verimidir.

Çizelge 5.2’de batarya enerji depolama biriminin teknik ve ekonomik özellikleri verilmiştir. Çizelgede görülen yatırım maliyeti bataryanın ekonomik olarak değerlendirmesinde kullanılacaktır. İşletme ve bakım maliyeti yatırım maliyetinin %20’si olarak belirlenmiştir. Bataryalar genel olarak değerlendirildiğinde deşarj derinliği %80 ve verimlilik %85 olarak alınmıştır. Yatırım maliyeti 280 \$/kW olan bu bataryaların yaşam ömrü 5 yıl olarak seçilmiştir.

Çizelge 5.2. Batarya enerji depolama biriminin teknik ve ekonomik özellikleri

Bileşen	Parametre	Değer	Birim
Batarya	Yaşam süresi	5	Yıl
	Deşarj derinliği	80	%
	Yatırım maliyeti	280	\$/kW
	Verim	85	%

### 5.2.3. Dizel jeneratör

Uzak bölge mikro şebeke uygulamaları için dizel jeneratör ikincil enerji kaynağı olarak kullanılmakta ve enerji sürekliliğini sağlamaktadır. Dizel jeneratörün enerji üretimi Denklem (5.5) ile verilmiştir.

$$F_c(t) = 0,246 \times P_{DG}(t) + 0,08415 \times P_{DG_{nom}}(t) \quad (5.5)$$

Burada  $F_c(t)$  dizel jeneratörün yakıt tüketimi (L/h),  $P_{DG}(t)$  dizel jeneratörün ürettiği güç (kW),  $P_{DG_{nom}}(t)$  nominal güç (kW)’tür. Çizelge 5.3’de dizel jeneratörün teknik ve ekonomik özellikleri verilmiştir. Denklemde verilen parametreler dizel jeneratörün yakıt eğrisinden elde edilen tüketim parametrelerdir. İlk parametre dizel jeneratörün ürettiği güç ile orantılı olarak kW’lik güç çıkışı başına saatlik yakıt tüketimini gösterirken ikinci



parametre ise yüksüz yakıt tüketiminin nominal kapasitesine bölümü ile elde edilir [Homer, 2019].

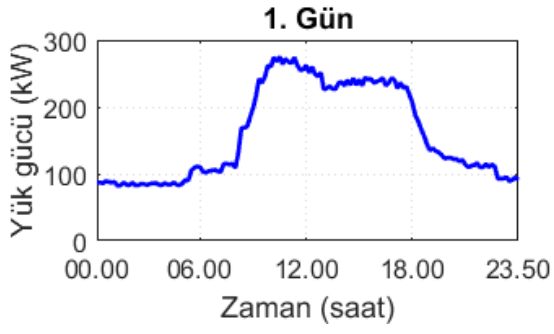
Çizelgede görülen yatırım maliyeti dizel jeneratörün ekonomik olarak değerlendirmesinde kullanılacaktır. İşletme ve bakım maliyeti yatırım maliyetinin %20'si olarak belirlenmiştir. Kullanıldığı güç aralığı ve bakım prosedürlerinin yerine getirilmesinin yeterliliğine göre dizel jeneratörlerin yaşam süresi 10000 ile 30000 saat aralığında kabul edilir. Bu çalışmada 30000 saat çalışma ömrüne sahip olan dizel jeneratörün yatırım maliyetleri araştırılmış ve kW başına maliyeti 1000 \$ olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.3. Dizel jeneratörün teknik ve ekonomik özellikleri

Bileşen	Parametre	Değer	Birim
Dizel jeneratör	Yaşam süresi	30000	Saat
	Yatırım maliyeti	1000	\$/kW

#### 5.2.4. Yük

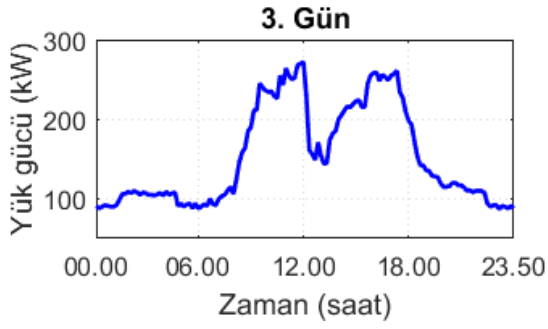
Mikro şebekelerde yük tüketimi ve yükün profili, depolama biriminin ve tüm sistemin tasarımında önem arz etmektedir. Özellikle enerji tüketiminin en yoğun olduğu zamanlarda ve kullanıcının enerji tüketimindeki değişikliklerde komponentlerin optimal kapasitelerinin belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Bu tez çalışmasında Gazi Üniversitesi Teknopark'ta kaydedilen gerçek zamanlı yük verisi kullanılmıştır. Işınım ve sıcaklık veri setinde olduğu gibi, yük verileri de 10 dakikalık aralıklarla kayıt altına alınmış ve şekil 5.4(a)-(e)'de verilmiştir. Mikro şebekede kullanılan yük verisi şekil 5.4(f)'de verilmiştir. 10 dakikalık periyotlardan oluşan yük verileri bir saatlik zaman dilimine çevrilmiş ve 1/10 oranında ölçeklenerek kullanılmıştır. Bu beş günlük veri grubu bir yıl boyunca 73 kez birbirini tekrarlayacak şekilde kullanılarak bir yıllık veri setini oluşturmuştur. Minimum yük gücü 9,38 kW seviyelerinde iken maksimum yük gücü ise 30 kW'tır. Yük tüketimi incelendiğinde öğle saatlerinde tüketiminin azaldığı, mesai başlangıcında artan bir seyir izlediği, mesai saatinin bitiminde de benzer olarak azalan bir seyirde seyrettiği, öğle saatleri haricinde mesai başlangıcından bitimine kadar benzer seyirde seyreden bir tüketim gerçekleştiği ve mesai saatlerinin bitiminden sonra yük tüketiminin minimum seviyeye indiği görülmüştür.



(a) 1. güne ait yük verisi



(b) 2. güne ait yük verisi



(c) 3. güne ait yük verisi

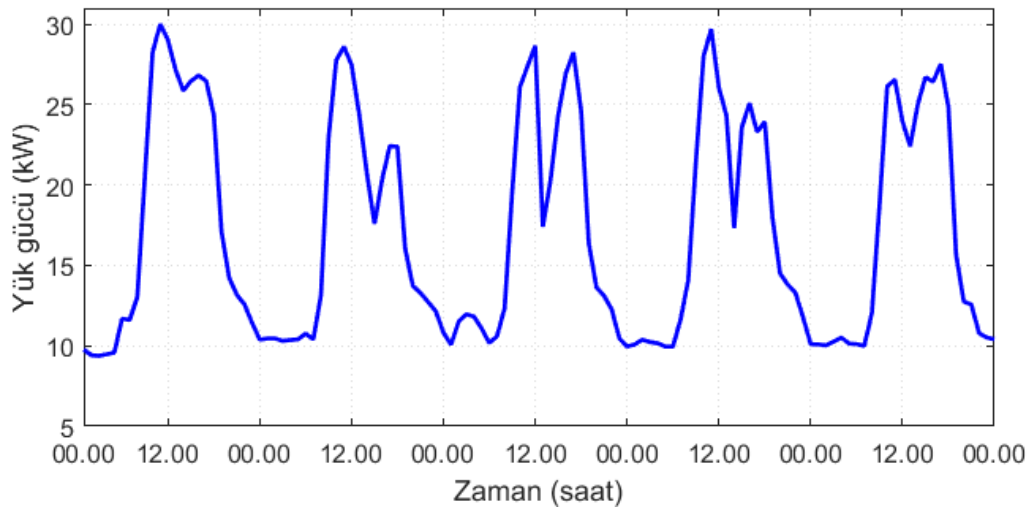


(d) 4. güne ait yük verisi



(e) 5. güne ait yük verisi

Şekil 5.4. Yük verisi



(f) Beş günlük yük verisi

Şekil 5.4. Yük verisi (devamı)

### 5.2.5. Evirici

FV güç sistemi ve batarya, AA baraya çift yönlü dönüştürücü üzerinden bağlanmıştır. Çizelge 5.4’de eviricinin teknik ve ekonomik özellikleri verilmiştir. Çizelgede görülen yatırım maliyeti dönüştürücünün ekonomik olarak değerlendirmesinde kullanılacaktır. İşletme ve bakım maliyeti yatırım maliyetinin %20’si olarak belirlenmiştir. Eviricilerin çalışma verimliliği %90 ile %95 aralığında değişmektedir ve bu çalışma için %92 olarak belirlenmiştir. Yatırım maliyeti için eviricilerin gerçek satış fiyatları araştırılmış ve 60 \$/kW olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.4. Eviricinin teknik ve ekonomik özellikleri

Bileşen	Parametre	Değer	Birim
Evirici	Yaşam süresi	24	Yıl
	Verim	92	%
	Yatırım maliyeti	60	\$/kW

### 5.3. Mikro Şebekenin Enerji Yönetim Stratejisi

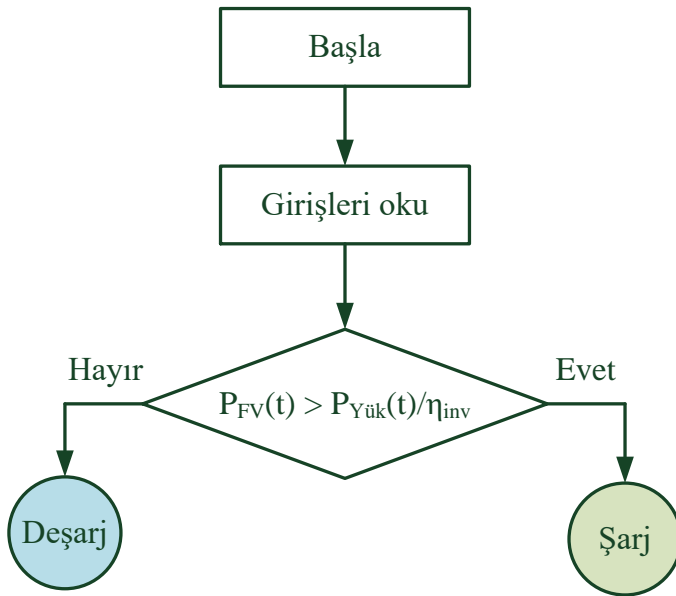
Bilgisayar modeli elde edilerek tasarlanan mikro şebeke için geliştirilen enerji yönetim stratejisi ile mikro şebekenin bileşenleri arasındaki yük akışının koordine edilmesi, yükün enerji talebinin karşılanması, FV güç sisteminden elde edilen faydanın maksimize edilmesi ve bu doğrultuda dizel jeneratörden minimum düzeyde yakıt tüketilmesi amaçlanmıştır. Belirlenen bu amaçlar doğrultusunda şekil 5.5'te verilen enerji yönetim stratejisi oluşturulmuştur. Şekil 5.5(a)'da sistemin başlangıç koşullarında uygulamaya geçeceği ana akış diyagramı verilmiştir. Bu ana akış diyagramında çalışma durumu açıklanacak olursa; FV sistemden enerji üretilirken, yükün enerji talebinin fazlası bir üretim değeri oluşursa tasarlanan model şekil 5.5(b)'de verilen yolu izler ve bataryalar şarj edilir. FV sistemden üretilen enerji ile yükün enerji talebinin karşılanmadığı zamanlarda ise algoritma şekil 5.5(c) ile verilen bataryalardan deşarj yolu ile enerji sağlar ve bataryalarında yeterli olmadığı durumda ise şekil 5.5(d)'de verilen yol izlenerek dizel jeneratörden enerji alınır. Dört durumdan oluşacak şekilde tasarlanan bu strateji ile FV sistemden enerji üretimi, bataryanın şarj edilmesi, batarya deşarj edilmesi, dizel jeneratörden enerji üretilmesi ve yükün enerji talebinin karşılanması süreçleri organize edilir.

**Durum 1:** FV güç sisteminden üretilen enerji yük talebini karşılamak için yeterlidir. Üretilen fazla enerji bataryada depolanır.

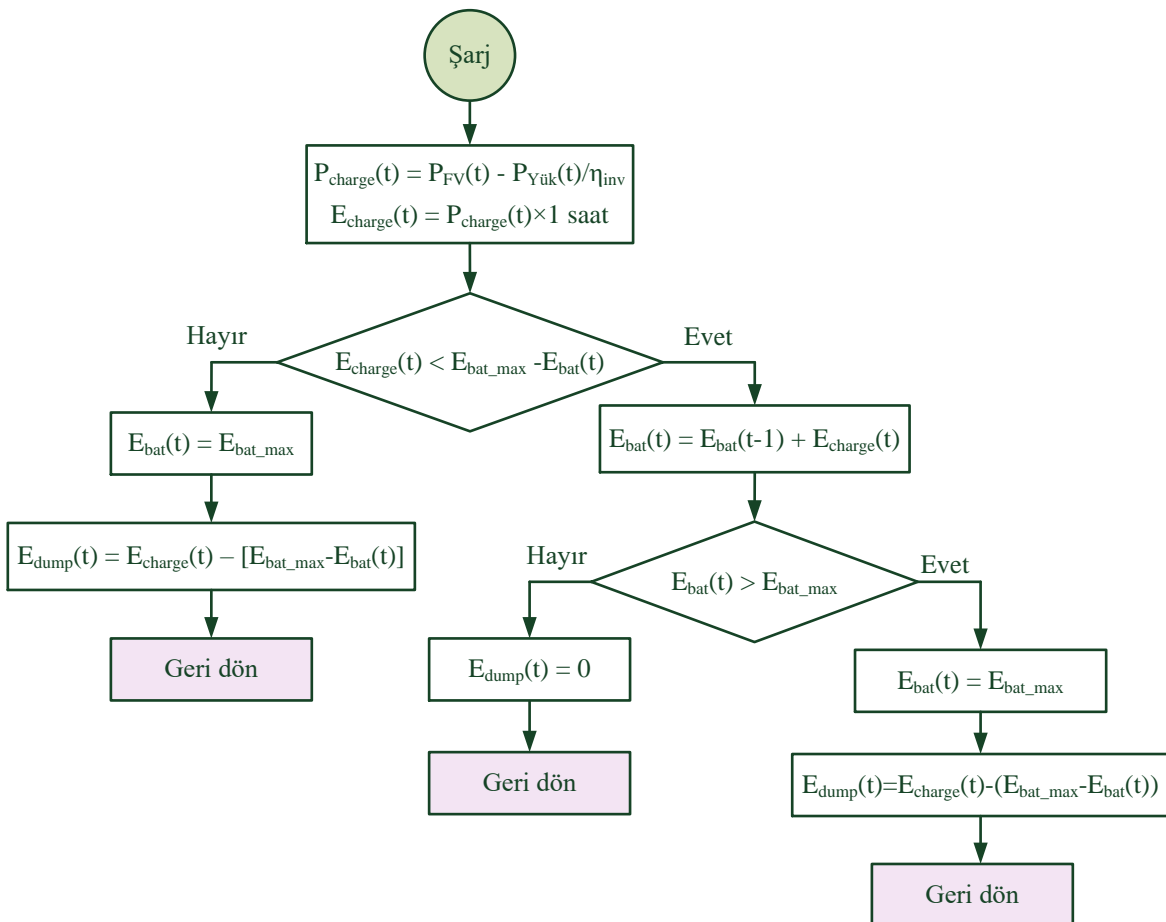
**Durum 2:** Durum 1'e ek olarak FV güç sisteminden üretilen enerji batarya ve yükün talep ettiği kadar fazla ise bu enerji harici yüklerde harcanır.

**Durum 3:** Yenilenebilir enerji kaynağı yük talebini karşılamada yetersizdir. Bu durumda yüke enerji sağlamak için birincil kullanım önceliğine sahip olan batarya kullanılır. Bataryanın da yeterli olmadığı durumda dizel jeneratör kullanılır.

**Durum 4:** FV üretim sistemi yük talebini karşılamada yetersiz ve batarya boş durumdadır. Bu durumda yüke enerji sağlamak için ikincil kullanım önceliğine sahip olan dizel jeneratör kullanılır.

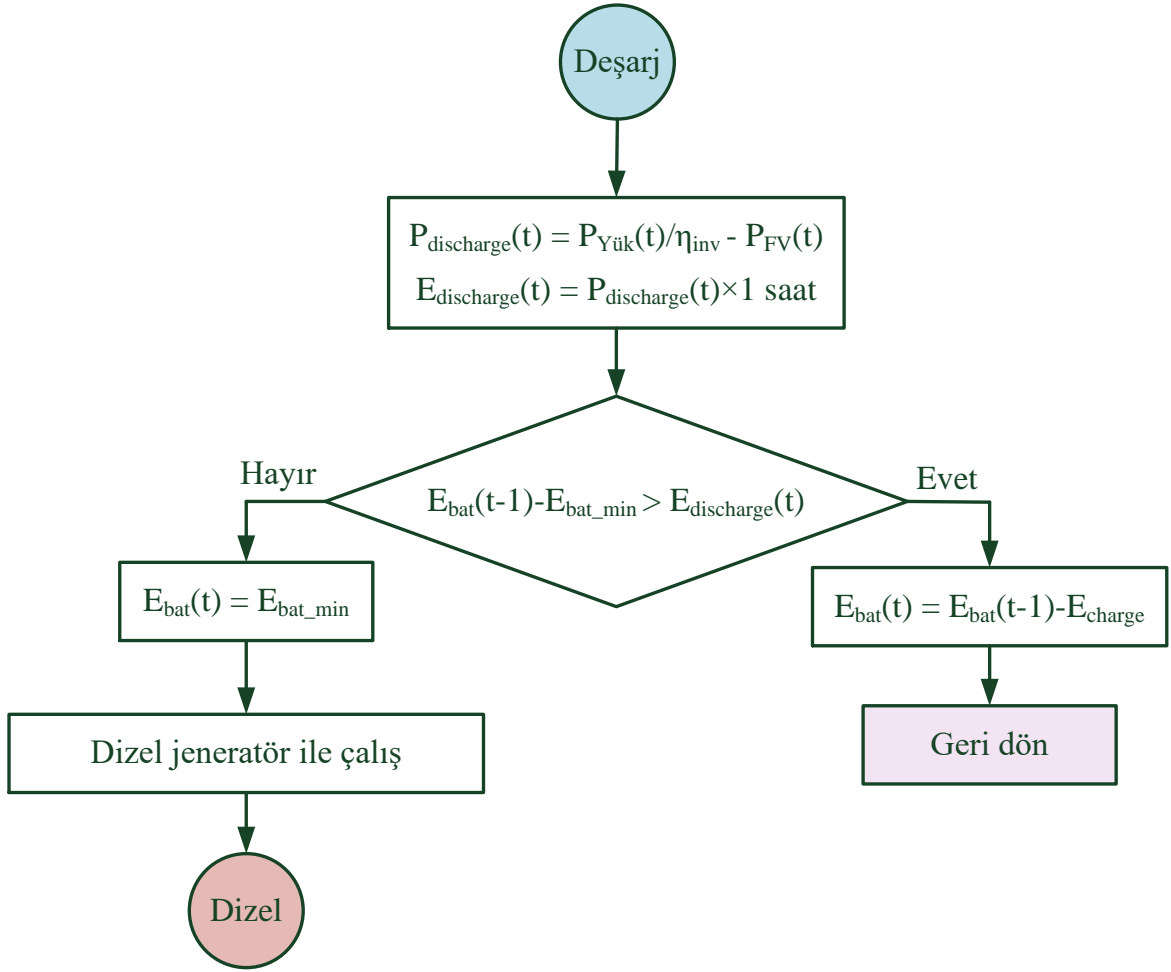


(a) Tasarlanan sistemin başlangıç koşullarındaki çalışması



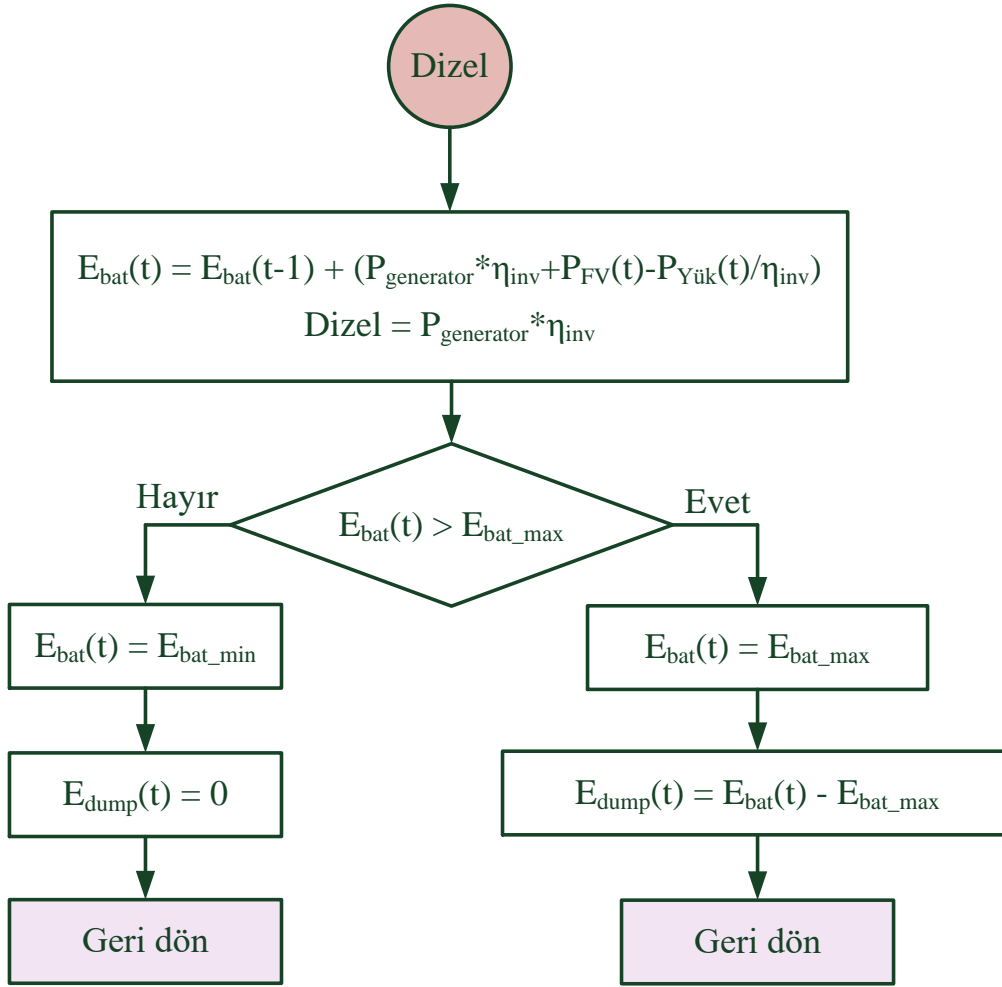
(b) Üretilen enerjinin tüketimden fazla olduğu durumda batarya şarj algoritması

Şekil 5.5. Enerji yönetimi stratejisi



(c) Üretilen enerjinin tüketilenden az olduğu durumda enerjinin bataryalardan karşılanması

Şekil 5.5. Enerji yönetimi stratejisi (devamı)



(d) Bataryalarda ve FV sistemde yeterli enerji bulunmadığı durumda dizel jeneratörden enerji temini

Şekil 5.5. Enerji yönetimi stratejisi (devamı)

## 5.4. Ekonomik ve Güvenilirlik Değerlendirme Kriterleri İle Amaç Fonksiyonu

### 5.4.1. Ekonomik değerlendirme kriteri

Ada modlu çalışan mikro şebekenin boyutlandırma optimizasyonu için COE'nin minimizasyonu yapılmıştır. Bir ekonomik değerlendirme kriteri olan enerjinin maliyeti ve sermayenin geri kazanım faktörü Denklem (5.6) ve Denklem (5.7)'de verilmiştir.

$$COE(\$/kWh) = \frac{TNPC}{\sum_{h=1}^{h=8760} E_{Yük}(h)} \times CRF \quad (5.6)$$

$$CRF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (5.7)$$

Burada, *TNPC* yatırım, maliyet, işletme, bakım ve yenileme maliyetlerini içeren toplam net bugünkü maliyettir.  $E_{Yük}(h)$  yükün saatlik enerji tüketimidir. *CRF* sermayenin geri kazanım faktörüdür ve toplam net bugünkü maliyet ile çarpılarak sistem maliyetinin yıllığa indirgenmesi sağlanır. Sermayenin geri kazanım faktörü faiz oranını dikkate alarak belirlenen bir zaman periyodu için sistem komponentlerinin bugünkü değerini hesaplamak için kullanılan anapara yada sermayenin geri kazanım faktörüdür.  $i$  gerçek faiz oranıdır ve %12 olarak alınmıştır.  $n$  ise sistemin yaşam süresini gösterir ve genellikle FV sistemin yaşam süresine eşit olarak seçilmektedir. Bunun sebebi ise FV sistemlerin diğer bileşenler ile karşılaştırıldığında yaşam süresi açısından en uzun ömre sahip olmasıdır.

#### 5.4.2. Güvenilirlik değerlendirme kriteri

Enerjinin maliyetine ek olarak mikro şebekenin boyutlandırma optimizasyonu için LPSP'nin minimizasyonu yapılmıştır. Bir güvenilirlik değerlendirme kriteri olan LPSP Denklem (5.8)'de verilmiştir. Yükü karşılamada güç kaynağındaki hatalarda, düşük yenilenebilir enerji kaynağı üretiminde ya da teknik hatalarda güç kaynağı kaybının olasılığı istatistiksel bir parametre olarak kullanılır ve sıfır ile bir aralığında değişmektedir. Bu değer sıfır olması enerji talebinin tamamıyla karşılandığı ve bir olması ise enerji talebinin karşılanmadığı anlamına gelmektedir.

$$LPSP = \frac{\sum(P_{Yük} - P_{FV} - P_{SOC_{min}} + P_{dizel})}{\sum(P_{Yük})} \quad (5.8)$$

Burada, *LPSP* güç kaynağının kaybının olasılığı,  $P_{Yük}$  yük tarafından tüketilen güç,  $P_{FV}$  FV güç sistemi tarafından üretilen güç,  $P_{SOC_{min}}$  bataryanın minimum şarj gücü ve  $P_{dizel}$  ise dizel jeneratörden mikro şebekeye sağlanan güçtür.

#### 5.4.3. Amaç fonksiyonu

Birden fazla karar değişkeninin olduğu sistemler çok amaçlı problemlerdir. Enerjinin maliyeti ve güç kaynağı kaybının olasılığı değerlerinin minimize edilmesi çalışmanın amaç



fonksiyonu olarak belirlenmiştir. Mikro şebekenin tasarımında belirlenen bu iki adet karar değişkeni kullanıldığı için amaç fonksiyonu çok amaçlı bir problemdir. Bu çok amaçlı problemi tek amaçlı bir problem haline getirmek için Denklem (5.9)'da verilen ağırlıklı toplam metodu kullanılmıştır.

Ağırlıklı toplam metodu ile çok amaçlı fonksiyonlara Denklem (5.10)'daki kriterlere dikkat edilerek ağırlıklar eklenerek bir araya getirilir ve bir skaler amaç fonksiyonu elde edilir. Burada,  $F(x)$  amaç fonksiyonu,  $x$  karar değişkeni,  $w_i$  her bir amacın bağıl önemi,  $k$  amaç fonksiyonu sayısı ve  $f_i(x)$   $i$ . amaç fonksiyonudur. Bu çalışmada COE ve LPSP amaçlarının aynı önem oranına sahip olduğu varsayılarak bağıl ağırlıklar 0,5 olarak kabul edilmiştir. Ağırlıklı toplam metodunda kullanılan bağıl ağırlıkların toplamı bire eşit olmalıdır.

$$F(x) = \left\{ \sum_{i=1}^k w_i \times f_i(x) \right\} \quad (5.9)$$

$$\sum_{i=1}^k w_i = 1, \quad w_i \in (0,1), \quad i \in \{1, \dots, m\} \quad (5.10)$$

COE ve LPSP'nin ek olarak uzak bölge mikro şebeke uygulamalarında yenilenebilir enerji kaynaklarının sistemlere entegrasyonunun oranı önemli bir konudur. Bu çalışma için dizel jeneratör ve FV güç sistemi mikro şebekenin enerji sağlayıcıları konumundadır. Bu üretilen enerji içinde FV güç sisteminden elde edilen enerji yenilenebilir kullanım oranı olarak tanımlanmış ve Denklem (5.11)'de verilmiştir. Yenilenebilir oranının %100 olması yükün enerji talebinin sadece yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılandığı %0 olması durumunda ise yükün enerji talebinin sadece dizel jeneratörden karşılandığı anlamına gelir.

$$RF = \left( 1 - \frac{\sum(P_{dizel})}{\sum(P_{FV})} \right) \times 100 \quad (5.11)$$

## 6. BULGULAR VE TARTIŞMA

FV güç sistemi, batarya ve dizel jeneratör mikro şebekede yer alacak bileşenler olup bu bileşenlerin optimum kapasitelerine PSOA, ABA, GKOA, BOA ve SSA ile çözüm aranmıştır. Bu algoritmaların optimizasyon işlemi sırasında kullandıkları bireysel giriş parametreleri, ortak parametreler ve arama uzayı Çizelge 6.1’de tanımlanmıştır. Çizelgede görülen bireysel parametreler algoritmaların çalışma performansını doğrudan etkilemektedir. Parçacık sayısı, iterasyon sayısı, algoritmanın deneme sayısı, COE ve LPSP’nin ağırlıkları beş algoritma için ortak parametrelerdir. Boyutlandırma optimizasyonuna 10 popülasyon ile 100 iterasyonda 20 deneme ile çözüm aranmış ve toplamda 2000 iterasyonda veriler toplanmıştır. Nümerik olmayan yani stokastik algoritmalar kategorisinde olan bu algoritmaların çoklu çalıştırılmalarının amacı her bir denemede elde ettikleri sonuçların bulunması ve karşılaştırılmasıdır. Amaç fonksiyonunu oluşturan LPSP ve COE’nin ağırlıkları 0,5 seçilmiş ve bu sistem için optimizasyon yapılırken her iki amacında eşit derecede öneme sahip olduğu bildirilmiştir. Son olarak ise bileşenlerin minimum ve maksimum kapasitelerinin bildiriminden oluşan arama uzayı tanımlanmıştır. Arama uzayı; FV sistemin gücü için 0 kW ile 100 kW, bataryanın enerji kapasitesi için 0 kWh ile 140 kWh ve dizel jeneratörün gücü için ise 0 kW ile 25 kW aralığına tanımlanmıştır. Ada modlu çalışan sistemlerde bataryalar genellikle 3 ile 5 gün arasında otonom çalışacak şekilde planlanırlar. Bu çalışmada bataryanın otonom çalışabileceği gün sayısı arama uzayına 0 ile 5 gün aralığında tanımlanmıştır. Alt ve üst limiti tanımlanan arama uzayı doğrultusunda belirlenen probleme çözüm aranmış olup bileşenlerin optimum kapasiteleri belirlenmiştir. Beş meta sezgisel algoritma ile mikro şebekenin boyutlandırma optimizasyonu gerçekleştirilmiştir.

Oluşturulan model doğrultusunda çalıştırılan bu algoritmaların değerlendirilmesi;

- Boyutlandırma optimizasyonunun sonuçları,
- Sistem maliyetinin optimizasyon sonuçları,
- Enerji üretiminin kaynaklara göre dağılımı,
- Amaç fonksiyonunun değişimi ve istatistiksel sonuçlar,
- Zaman kullanımı ve istatistiksel sonuçlar,
- Yakınsama grafikleri,

- COE ve LPSP çıktıları,
- FV gücün değişimi,
- Batarya kapasitesinin değişimi,
- Dizel jeneratör gücünün değişimi,
- Algoritmaların değerlendirilmesi ve karşılaştırılması olmak üzere on bir alt bölümde incelenmiştir.

Çizelge 6.1. Algoritmaların bireysel giriş parametreleri, ortak parametreler ve arama uzayı

Algoritma	Parametre	Değer
PSOA	$w$	0,7298
	$c_1$	1,4962
	$c_2$	1,4962
	$r_1$	Rand [0,1]
	$r_2$	Rand [0,1]
ABA	$\beta_0$	0,2
	$\gamma$	1
	$\alpha$	0,5
GKOA	$a$	[2,0]
	$r_1$	Rand [0,1]
	$r_2$	Rand [0,1]
BOA	$a$	[2,0]
	$r$	Rand [0,1]
	$l$	Rand [-1,1]
	$b$	1
SSA	$c_2$	Rand [0,1]
	$c_3$	Rand [0,1]
Ortak parametreler	Parçacık sayısı	10
	İterasyon sayısı	100
	Algoritmanın deneme sayısı	20
	COE ağırlığı	0,5
	LPSP ağırlığı	0,5
Arama uzayı	FV sistem gücünün üst limiti	100 kW
	FV sistem gücünün alt limiti	0 kW
	Batarya kapasitesinin üst limiti	140 kWh
	Batarya kapasitesinin alt limiti	0 kWh
	Dizel jeneratör gücünün üst	25 kW
	Dizel jeneratör gücünün alt	0 kW

## 6.1. Boyutlandırma Optimizasyonunun Sonuçları

Mikro şebekenin proje ömrü boyunca yüke enerji sağlamak için kullanacağı FV sistem, batarya ve dizel jeneratörün kapasiteleri meta sezgisel algoritmalar ile belirlenmiş ve boyutlandırma optimizasyonunun sonuçları Çizelge 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 6.2. Boyutlandırma optimizasyonunun sonuçları

Optimizasyon sonuçları	Birim	PSOA	ABA	GKOA	BOA	SSA
FV sistemin gücü	kW	64,5299	59,0152	58,3161	63,5287	54,0755
Bataryanın enerji depolama kapasitesi	kWh	130,8693	97,4148	119,4018	130,3328	99,3554
Dizel jeneratörün gücü	kW	6,2341	5,2843	5,7003	7,4953	7,0698
COE	\$/kWh	0,2240	0,1851	0,2078	0,2365	0,2182
LPSP	-	0,0415	0,0884	0,0634	0,0281	0,0534
Yenilenebilir enerjinin kullanım oranı	%	95	93	94	94	90

PSOA; mikro şebekeyi oluşturan bileşenlerin kapasitelerini 64,5299 kW FV güç sistemi, 130,8693 kWh enerji depolama birimi ve 6,2341 kW dizel jeneratör olarak belirlemiştir. Bu durumda COE ve LPSP sırasıyla 0,2240 \$/kWh ve 0,0415 olarak hesaplanmıştır. Bu mikro şebekenin yenilenebilir enerji kullanım oranı yaklaşık %95 seviyesindedir.

ABA; mikro şebekeyi oluşturan bileşenlerin kapasitelerini 59,0152 kW FV güç sistemi, 97,4148 kWh enerji depolama birimi ve 5,2843 kW dizel jeneratör olarak belirlemiştir. Bu durumda COE ve LPSP sırasıyla 0,1851 \$/kWh ve 0,0884 olarak hesaplanmıştır. Bu mikro şebekenin yenilenebilir enerji kullanım oranı yaklaşık %93 seviyesindedir.

GKOA; mikro şebekeyi oluşturan bileşenlerin kapasitelerini 58,3161 kW FV güç sistemi, 119,4018 kWh enerji depolama birimi ve 5,7003 kW dizel jeneratör olarak belirlemiştir. Bu durumda COE ve LPSP sırasıyla 0,2078 \$/kWh ve 0,0634 olarak

hesaplanmıştır. Bu mikro şebekenin yenilenebilir enerji kullanım oranı yaklaşık %94 seviyesindedir.

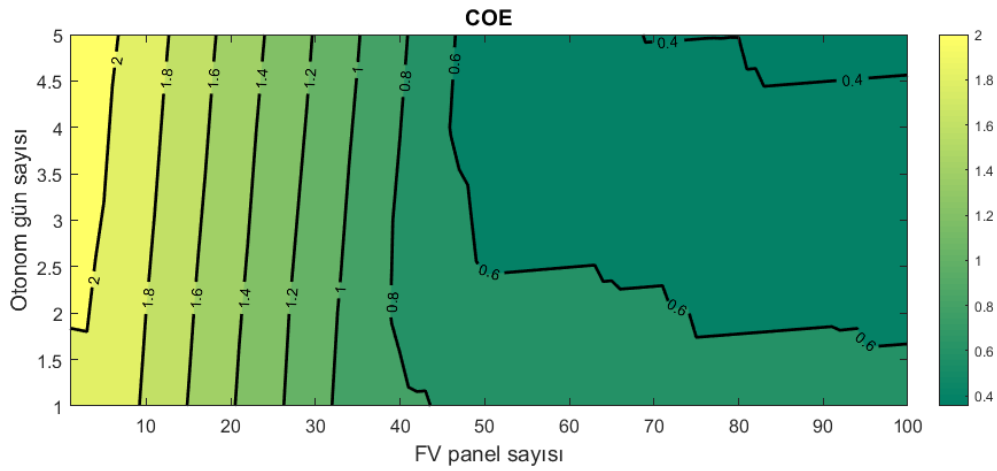
BOA; mikro şebekeyi oluşturan bileşenlerin kapasitelerini 63,5287 kW FV güç sistemi, 130,3328 kWh enerji depolama birimi ve 7,4953 kW dizel jeneratör olarak belirlemiştir. Bu durumda COE ve LPSP sırasıyla 0,2365 \$/kWh ve 0,0281 olarak hesaplanmıştır. Bu mikro şebekenin yenilenebilir enerji kullanım oranı yaklaşık %94 seviyesindedir.

Son olarak SSA algoritması ise; bileşenlerin kapasitelerini 54,0755 kW FV güç sistemi, 99,3554 kWh enerji depolama birimi ve 7,0698 kW dizel jeneratör olarak belirlemiştir. Bu durumda COE ve LPSP sırasıyla 0,2182 \$/kWh ve 0,0534 olarak hesaplanmıştır. Bu mikro şebekenin yenilenebilir enerji kullanım oranı yaklaşık %90 seviyesindedir.

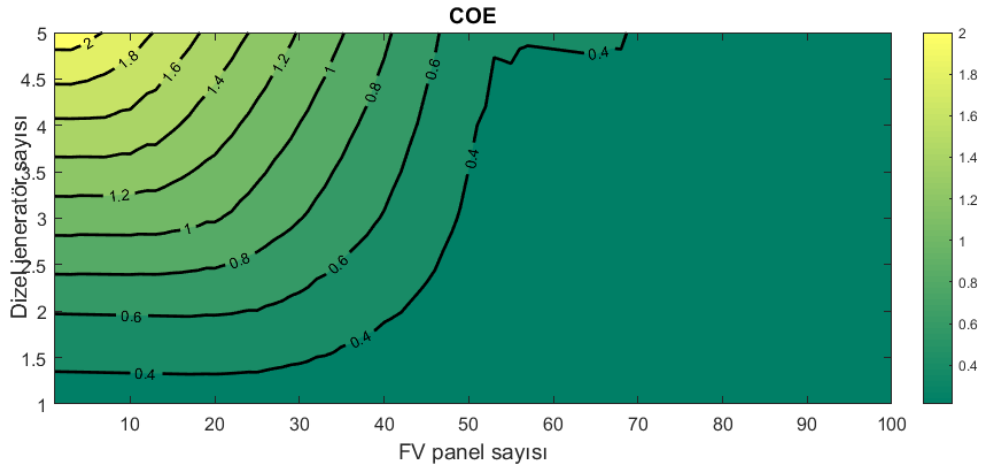
Minimize edilmesi gereken birinci amaç olan COE açısından algoritmalar değerlendirildiğinde en ucuz elektrik enerjisi ABA ile en pahalı elektrik enerjisi ise GKOA ile üretilmiştir. GKOA algoritmasının boyutlandırma optimizasyonu ile belirlenen bileşenlerden elektrik enerjisini ABA algoritmasına göre %26,77 oranında daha pahalıya üretmektedir. Minimize edilmesi gereken ikinci amaç LPSP'dir ve en düşük LPSP oranı WOA ile ve en yüksek LPSP oranı ise ABA ile elde edilmiştir. Bu sonuçlar ise BOA algoritmasına ait sistem tasarımında güç kaynağı kaybının olasılığının ABA algoritmasının sistemine göre %31,79 oranında fazla olacağını göstermiştir. Algoritmaların belirlediği kapasitedeki sistemler, yenilenebilir enerjinin kullanım oranı açısından değerlendirildiğinde ise PSOA en yüksek yenilenebilir enerjiyi bünyesine dâhil ederken SSA, algoritmalar içinde en düşük yenilenebilir enerji kullanım oranına sahiptir. COE ve LPSP en düşük değerden en yüksek değeri elde eden algoritmalara doğru sıralandığında beş meta sezgisel algoritma içinde üçüncü sırada yer alan ve hem COE hemde LPSP açısından en uygun değeri üreten algoritmanın SSA olduğu görülmüştür.

Boyutlandırma optimizasyonu ile mikro şebekede kullanılacak FV panel sayısı, bataryanın otonom çalışabileceği gün sayısı ve dizel jeneratör sayısı araştırılmış ve FV sistemin çıkış gücü, bataryanın enerji depolama kapasitesi ve dizel jeneratörün gücü elde

edilmiştir. Tanımlanan arama uzayı ile mikro şebekeyi oluşturan bileşenlerin kapasitelerinin değişiminin COE ve LPSP'ye etkileri incelenerek algoritmaların bulduğu sonuçlar değerlendirilmiştir. Şekil 6.1(a)'da FV panel sayısının otonom gün sayısına göre değişimi COE açısından incelenmiş ve FV panel sayısının artması ile COE'nin azaldığı görülmüştür. Şekil 6.1(b)'de ise panel sayısının dizel jeneratör sayısına göre değişimi COE açısından verilmiştir. FV panel sayısının artması ile COE azalırken, dizel jeneratör sayısının arttırılması COE'nin artmasına sebep olmaktadır.

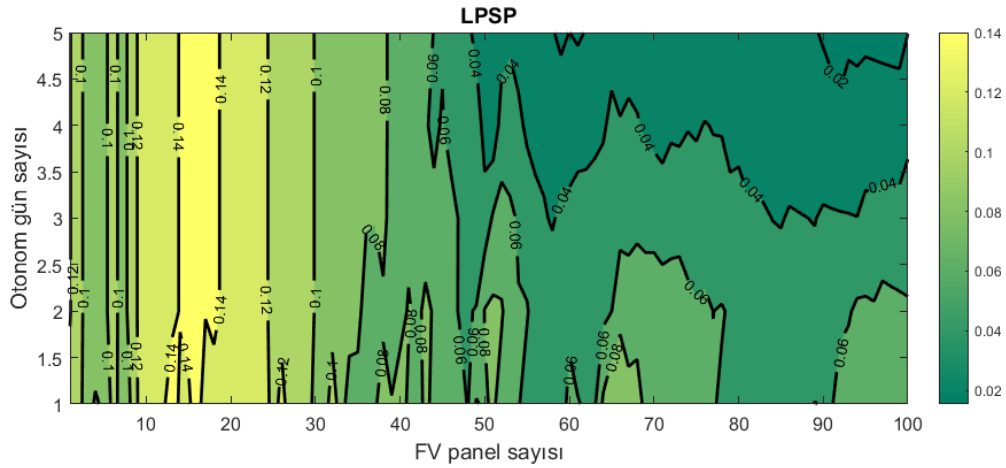


(a) FV panel sayısına karşın otonom gün sayısının değişiminin COE'ye etkisi

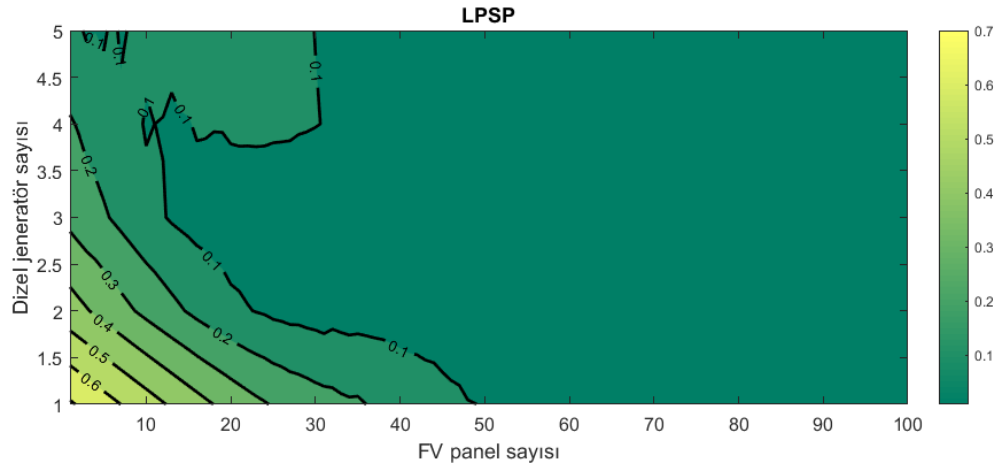


(b) FV panel sayısına karşın dizel jeneratör sayısının değişiminin LPSP'ye etkisi

Şekil 6.1. Bileşenlerin kapasitelerinin değişiminin COE ve LPSP'ye etkisi



(c) FV panel sayısına karşın otonom gün sayısının değışiminin COE'ye etkisi



(d) FV panel sayısına karşın dizel jeneratör sayısının d değışiminin LPSP'ye etkisi

Şekil 6.1. Bileşenlerin kapasitelerinin değışiminin COE ve LPSP'ye etkisi (devamı)

Mikro şebekeyi oluşturan bileşenlerin kapasitelerinin değışiminin ikinci minimize edilmesi gereken amaç olan LPSP'ye etkileri şekil 6.1'de incelenmiştir. Şekil 6.1(c)'de FV panel sayısının otonom gün sayısına göre değışimi LPSP açısından incelenmiş ve FV panel sayısının ve bataryanın otonom çalışacağı gün sayısının artması LPSP'yi azaltıcı yönde olumlu bir etki yapmaktadır. Şekil 6.1(d)'de ise FV panel sayısının dizel jeneratör sayısına göre değışimi LPSP açısından verilmiştir. Hem FV panel sayısının hem de dizel jeneratörün sayısının artması ile LPSP'yi azalttığı gözlenmiştir.

Mikro şebekede kullanılan FV panel sayısı 62,64 adet ile 69,31 adet aralığında, bataryanın otonom çalışacağı gün sayısı 3,56 ile 4,79 gün aralığında ve dizel jeneratörün

sayısı ise 1,05 ile 1,41 adet aralığında değişmektedir. Buradan hareketle elde edilen kapasitelerin arama uzayı içindeki durumu değerlendirildiğinde sistemin COE ve LPSP açılarından bileşen kapasitelerini belirlemede algoritmaların başarılı olduğu görülmüştür.

## 6.2. Sistem Maliyetinin Optimizasyon Sonuçları

Mikro şebeke tasarımında güvenilirlik ve ekonomik değerlendirme kriterleri kullanılmış ve ekonomik değerlendirme kriteri ile en ekonomik sistem araştırılmıştır. Bileşenlerin yaşam süresi ve proje ömrü boyunca değişim miktarı bir bileşenin mikro şebeke konfigürasyonunda yer alıp almayacağını belirleyicisi olmaktadır. Mikro şebekeyi oluşturan bileşenlerin kapasitelerinin belirlenmesinin neticesinde elde edilen sistemin maliyet değerlendirmesi Çizelge 6.3’de verilmiştir.

Çizelge 6.3. Sistem maliyetinin optimizasyon sonuçları

Optimizasyon sonuçları	Birim	PSOA	ABA	GKOA	BOA	SSA
Proje ömrü boyunca batarya değişim miktarı	Adet	4	4	4	4	4
Proje ömrü boyunca dizel jeneratörün değişim miktarı	Adet	1	1	1	1	2
Toplam yatırım, işletme, bakım maliyeti	\$	229926,06	181011,71	210061,41	228487,62	186080,49
Yılığa indirgenmiş yatırım, işletme, bakım maliyeti	\$	29537,09	23253,39	26985,21	29352,31	23904,54
Dizel jeneratörün yakıt fiyatı	\$/L	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
Dizel jeneratörün yıllık çalışma süresi	Saat/yıl	1861,71	2499,82	2008,55	2238,35	3438,11
Dizel jeneratörün yıllık yakıt tüketimi	L/yıl	3800,43	4325,58	3749,06	5493,68	7959,21
Dizel jeneratörün yıllık yakıt maliyeti	\$/yıl	4180,47	4758,14	4123,97	6043,05	8755,13
Yılığa indirgeniş toplam maliyet	\$	33717,56	28011,52	31109,18	35395,35	32659,68

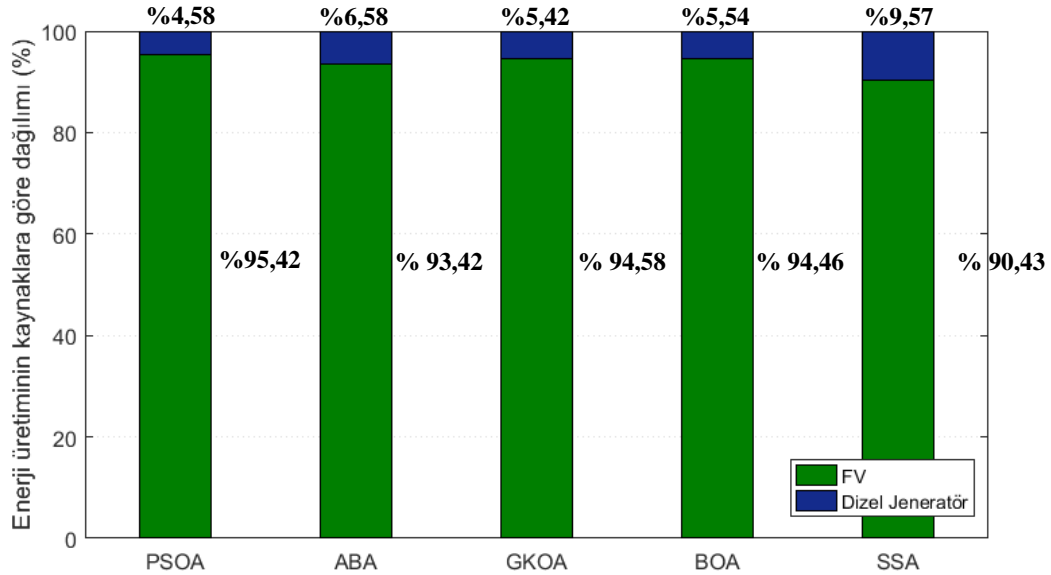
Sistemin proje ömrü FV güç sisteminin yaşam süresine eşit kabul edilmiş ve 24 yıl seçilmiştir. Bütün algoritmalar proje ömrü boyunca belirlenen batarya enerji depolama biriminin 4 defa yenileneceğini ortaya koymuştur. Dizel jeneratör ise SSA ile 2 defa



yenilemeye ihtiyaç duyulurken diğer algoritmalar ile dizel jeneratör bir defa yenilenmiştir. Batarya ve dizel jeneratörün yenileneme sayısı sistemin yatırım, işletme ve bakım maliyeti ile doğru orantılıdır. Yatırım, işletme ve bakım maliyeti, yıllığa indirgenmiş yatırım, işletme ve bakım maliyeti, dizel jeneratörün yakıt fiyatı, yıllık çalışma süresi, yıllık yakıt tüketimi, yıllık yakıt maliyeti kullanılarak sistemin yıllığa indirgeniş toplam maliyeti hesaplanmıştır. Yıllığa indirgeniş toplam maliyeti en düşük ve en yüksek sistem sırasıyla ABA ve BOA ile elde edilmiştir.

### 6.3. Enerji Üretimini Kaynaklara Göre Dağılımı

FV güç sistemi ve dizel jeneratör, mikro şebekenin enerji üreteçleri konumundadır. Enerji üretiminin kaynaklara göre dağılımı şekil 6.2’de verilmiştir. Optimizasyon sonuçlarına göre algoritmalar içinde FV güç sisteminden en yüksek enerji üretimi ve en düşük dizel jeneratör kullanım oranı PSOA ile en düşük FV güç sistemi ve en yüksek dizel jeneratör kullanım oranı ise SSA ile gerçekleşmiştir.



Şekil 6.2. Enerji üretiminin kaynaklara göre dağılımı

Mikro şebekenin enerji üretiminin kaynaklara dağılımına ek olarak bataryanın enerji kullanımı durumu da verilmiştir. FV sistem ile üretilen gücün yükün enerji talebinden fazla

olduğu durumlarda bataryalar enerji depolamak için kullanılmıştır. Çizelge 6.4’de mikro şebekenin yüke enerji sağlama durumu verilmiştir. FV güç sisteminden bataryalara en yüksek enerji aktarımı PSOA ile en düşük enerji aktarımı ise SSA ile gerçekleşmiştir.

Çizelge 6.4. Yüke enerji sağlama durumu

Yüke enerji sağlama durumu	Birim	PSOA	ABA	GKOA	BOA	SSA
FV	%	74,57	72,55	71,72	73,97	69,95
Dizel jeneratör	%	4,58	6,58	5,42	5,54	9,57
Batarya enerji depolama birimi	%	20,85	20,87	22,86	20,49	20,49

#### 6.4. Amaç Fonksiyonunun Değişimi Ve İstatistiksel Sonuçlar

Algoritmalar belirlenen amaçlar doğrultusunda optimizasyonu gerçekleştirirler ve bu amaç fonksiyonunu minimize yada maksimize ederler. Bu çalışmada iki adet değerlendirme kriterinden oluşan çoklu amaçlar ağırlıklı toplam metodu kullanılarak 0 ile 1 aralığında değişen tek amaçlı bir probleme dönüştürülmüştür. Meta sezgisel algoritmalar rastgele çözüm üreten algoritmalar olduğu için bu problemin belirlenen iterasyondaki çözümüne ek olarak algoritmaların performansını incelemek için birden fazla deneme yapılmış ve 20 denemenin amaç fonksiyonunun değişimleri ve istatistiksel sonuçlar Çizelge 6.5’de verilmiştir.

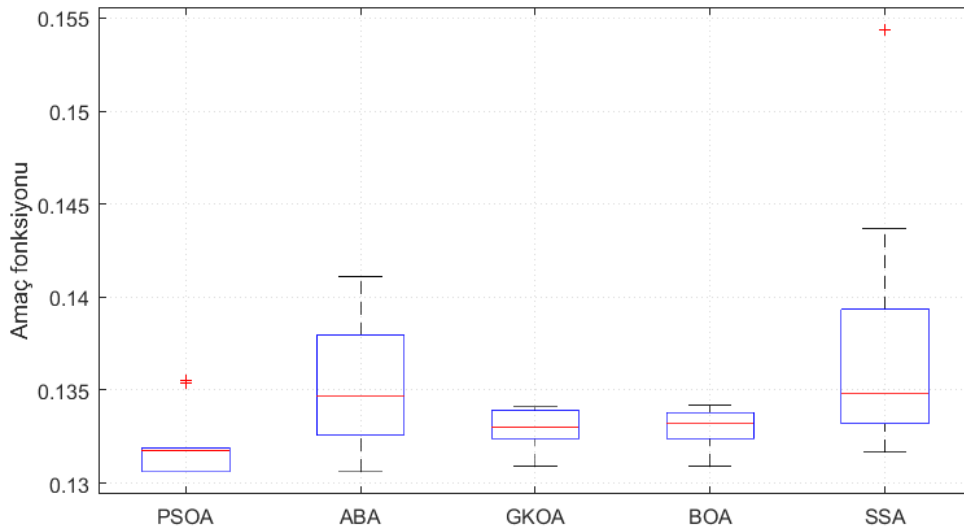
Çizelge 6.5. Amaç fonksiyonunun değişimleri ve istatistiksel sonuçlar

Amaç fonksiyonu	PSOA	ABA	GKOA	BOA	SSA
Deneme 1	0,1355	0,1307	0,1337	0,1312	0,1385
Deneme 2	0,1306	0,1375	0,1328	0,1330	0,1322
Deneme 3	0,1306	0,1351	0,1325	0,1323	0,1317
Deneme 4	0,1306	0,1402	0,1336	0,1324	0,1344
Deneme 5	0,1318	0,1397	0,1326	0,1333	0,1544
Deneme 6	0,1306	0,1360	0,1323	0,1342	0,1334
Deneme 7	0,1319	0,1408	0,1315	0,1341	0,1334
Deneme 8	0,1306	0,1327	0,1327	0,1335	0,1410
Deneme 9	0,1317	0,1317	0,1329	0,1338	0,1330
Deneme 10	0,1319	0,1411	0,1334	0,1322	0,1402
Deneme 11	0,1316	0,1326	0,134	0,1335	0,1353
Deneme 12	0,1354	0,1384	0,1309	0,1336	0,1337

Çizelge 6.5. Amaç fonksiyonunun değişimleri ve istatistiksel sonuçlar (devamı)

Amaç fonksiyonu	PSOA	ABA	GKOA	BOA	SSA
Deneme 13	0,1319	0,1347	0,1323	0,1328	0,1328
Deneme 14	0,1319	0,1375	0,1331	0,1327	0,1409
Deneme 15	0,1319	0,1326	0,1341	0,1342	0,1352
Deneme 16	0,1306	0,1347	0,1341	0,1331	0,1319
Deneme 17	0,1319	0,1326	0,1341	0,1324	0,1437
Deneme 18	0,1355	0,1306	0,1322	0,1338	0,1354
Deneme 19	0,1306	0,1317	0,1339	0,1309	0,1338
Deneme 20	0,1306	0,1332	0,1339	0,1341	0,1358
Minimum	0,1306	0,1306	0,1309	0,1309	0,1317
Maksimum	0,1355	0,1411	0,1341	0,1342	0,1544
Ortalama	0,1319	0,1352	0,1330	0,1330	0,1365
Standart sapma	0,0016	0,0035	9,1459e-04	9,5471e-04	0,0054

Çizelgede verilen algoritmaların deneme çıktıları sonuçlarında elde edilen en iyi amaç fonksiyonunun istatistiksel incelemesi şekil 6.3’de verilmiştir. Bu kutu grafiği, algoritmaların deneme çıktılarının minimum, ortalama ve maksimum değerleri açısından incelenmesine olanak sağlamaktadır. Problemin çözümünde minimum amaç fonksiyonu PSOA ve ABA ile elde edilirken en yüksek amaç fonksiyonunu SSA hesaplamıştır. Denemeler ile elde edilen ortalama amaç değeri problemin yaklaşık olarak minimize edildiği değer hakkında bilgi vermektedir. En düşük ortalama amaç fonksiyonu PSOA ile en yüksek değer ise SSA ile elde edilmiştir.



Şekil 6.3. Deneme çıktılarının minimum, maksimum ve ortalamasının incelenmesi

Algoritmaların her bir deneme sonucunda elde ettiği en iyi amaç fonksiyonundan uzaklığı bir istatistiksel parametre olan standart sapma ile incelenir ve standart sapma değerinin sifira yakınlığı başarılı olarak ilişkilendirilir. GKOA ve BOA algoritmasının amaç fonksiyonunun standart sapmasının sifira yakın değer içermesi her deneme sonucunda yaklaşık aynı sonuca yakınsadığını göstermektedir. Amaç fonksiyonunun standart sapması açısından GKOA en başarılı algoritmadır.

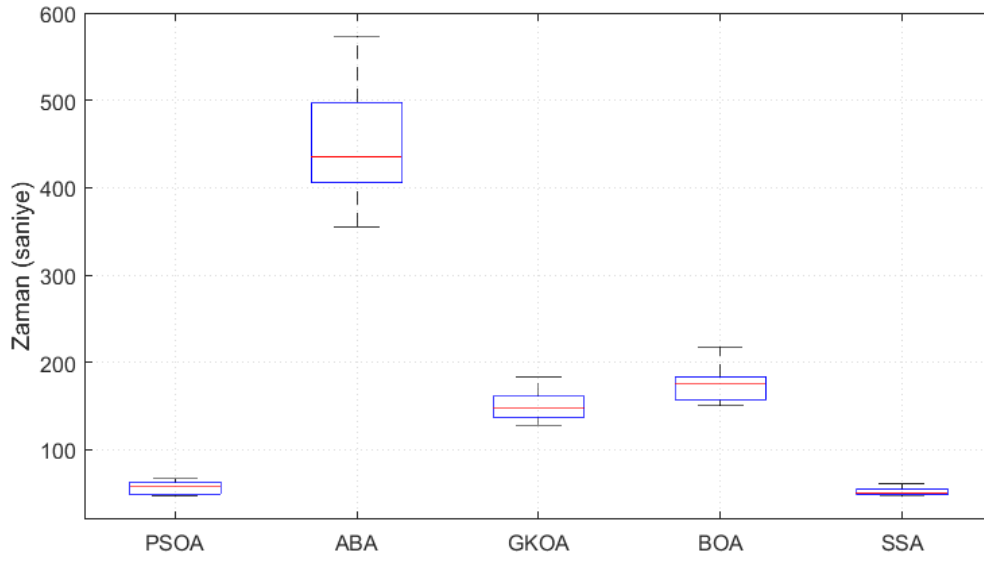
### **6.5. Zaman Kullanımı Ve İstatistiksel Sonuçlar**

Farklı algoritmalar farklı matematiksel altyapıya sahip olup problemin çözümüne yaklaşımındaki sergiledikleri karakteristik davranışlarda farklılık göstermektedir. Bu sebeple her bir algoritmanın inşa edildiği matematiksel model farklı olduğu için problemin çözümünü de birbirinden bağımsız olarak farklı zamanlarda gerçekleştirirler. Algoritmaların optimizasyon sürecinde 100 iterasyondan oluşan her bir denemeyi sonuçlandırmasına ilişkin zaman kullanımı ve istatistiksel sonuçlar Çizelge 6.6’da verilmiştir. Programlama MATLAB ile gerçekleştirilmiş olup algoritmaların çalışma zamanları bu yazılımın kronometresi ile tutulmuş ve kayıt altına alınmıştır.

Algoritmaların optimizasyon süreleri zaman kullanımının karşılaştırmasının yapılabilmesi amacıyla kaydedilmiştir. Şekil 6.4’de verilen kutu grafiği ile deneme çıktılarının zaman kullanımları incelendiğinde; SSA minimum, ortalama ve maksimum zaman ve standart sapma açısından en hızlı algoritma olurken en yavaş çözüm üreten algoritma ise ABA olduğu görülmüştür.

Çizelge 6.6. Zaman kullanımı

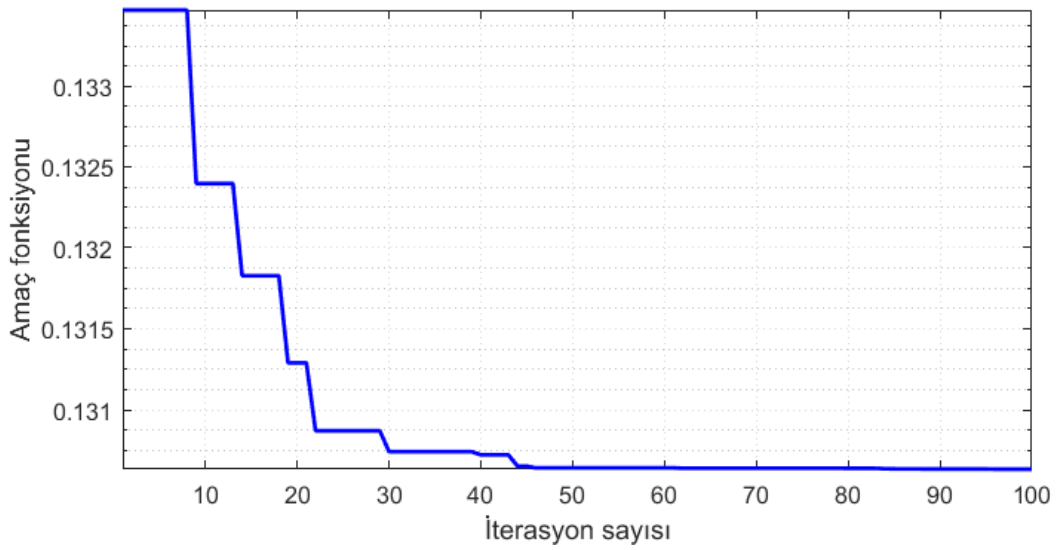
<b>Zaman</b>	<b>Birim</b>	<b>PSOA</b>	<b>ABA</b>	<b>GKOA</b>	<b>BOA</b>	<b>SSA</b>
Deneme 1	Saniye	46,7548	415,3200	141,3291	177,2986	48,8743
Deneme 2	Saniye	46,6632	543,9500	160,8340	189,8476	48,2557
Deneme 3	Saniye	47,5577	534,0100	169,4517	197,1179	54,7229
Deneme 4	Saniye	50,4134	573,9100	167,3326	179,4515	54,3303
Deneme 5	Saniye	47,1572	510,8400	158,1323	182,9920	58,3458
Deneme 6	Saniye	47,4385	484,6800	146,2309	175,8287	55,4472
Deneme 7	Saniye	59,5112	501,5200	150,503	172,9885	53,8550
Deneme 8	Saniye	57,7453	373,7000	140,5117	174,2586	60,3604
Deneme 9	Saniye	56,9749	473,0200	142,4119	176,2536	59,6335
Deneme 10	Saniye	54,6340	464,2800	147,9388	217,8380	46,4293
Deneme 11	Saniye	57,1344	411,4400	151,2245	185,6183	50,3226
Deneme 12	Saniye	64,4967	432,0700	182,9374	155,5841	48,0996
Deneme 13	Saniye	63,9238	427,8700	161,1716	169,1400	47,6128
Deneme 14	Saniye	54,6761	493,8900	131,8638	183,9575	60,8539
Deneme 15	Saniye	66,1624	375,4600	133,8790	158,1347	48,8017
Deneme 16	Saniye	62,7479	400,3100	143,1202	162,7710	48,6607
Deneme 17	Saniye	66,5312	355,4700	161,4289	153,4249	50,9387
Deneme 18	Saniye	63,0956	439,0900	128,3594	153,9609	49,9070
Deneme 19	Saniye	61,0796	429,2000	131,2718	150,2130	48,3506
Deneme 20	Saniye	61,4969	381,7600	130,3032	156,4980	49,6013
Minimum	Saniye	46,6632	355,4745	128,3594	150,2130	46,4293
Maksimum	Saniye	66,5312	573,9136	182,9374	217,8380	60,8539
Ortalama	Saniye	56,8097	451,0894	149,0118	173,6589	52,1702
Standart sapma	-	7,0180	61,9527	14,9899	17,0259	4,6593



Şekil 6.4. Deneme çıktılarının minimum, maksimum ve ortalamasının incelenmesi

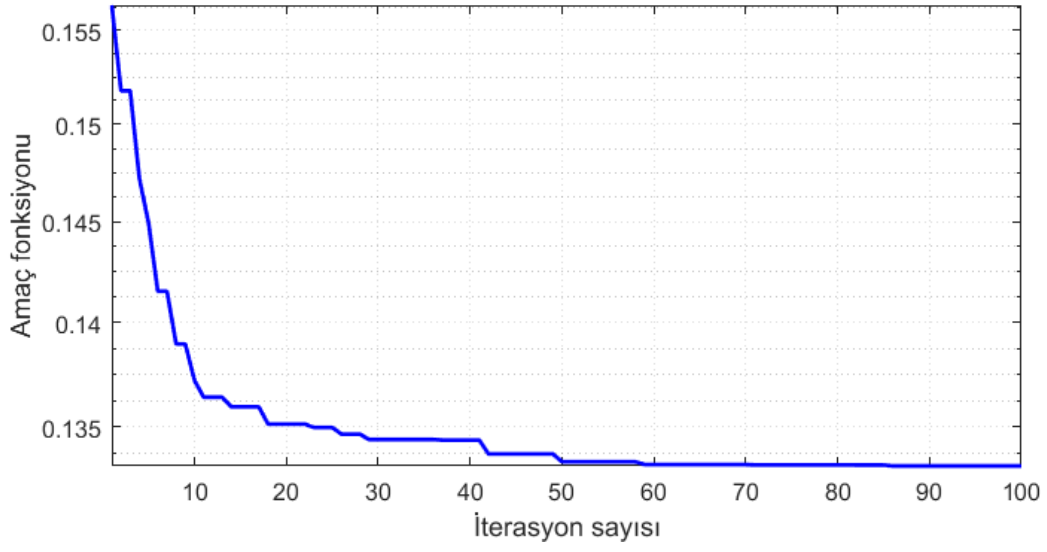
## 6.6. Yakınsama Grafikleri

Maksimum iterasyon süresine veya belirlenen sonlandırma kriterine ulaşıncaya kadar çalıştırılan algoritmaların minimizasyon süreci yakınsama grafiği ile incelenir. Bu tez çalışmasında iki amaçtan oluşan ve ağırlıklı toplam metodu ile bir araya getirilen amaç fonksiyonuna ait yakınsama grafikleri şekil 6.5’de verilmiştir.

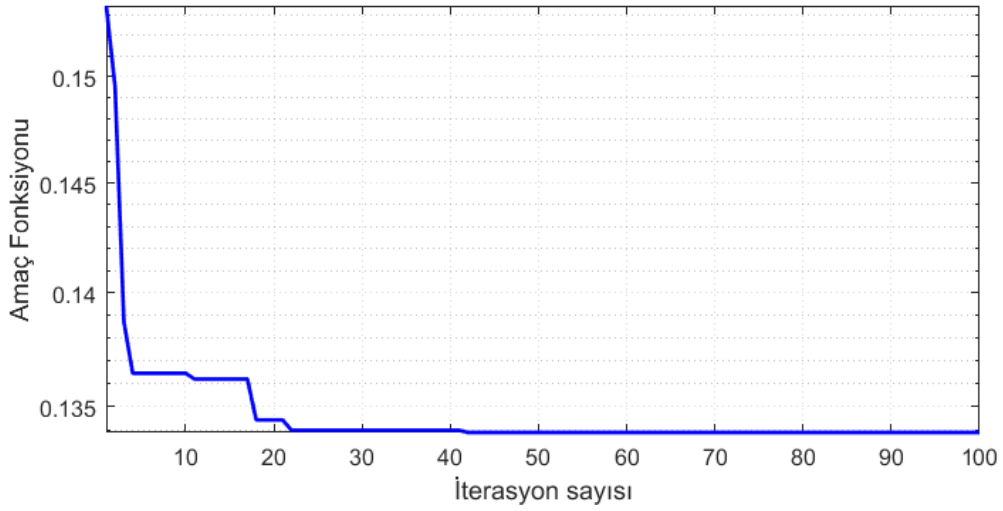


(a) PSOA

Şekil 6.5. Yakınsama grafiklerinin iterasyon sayısına göre değişimi

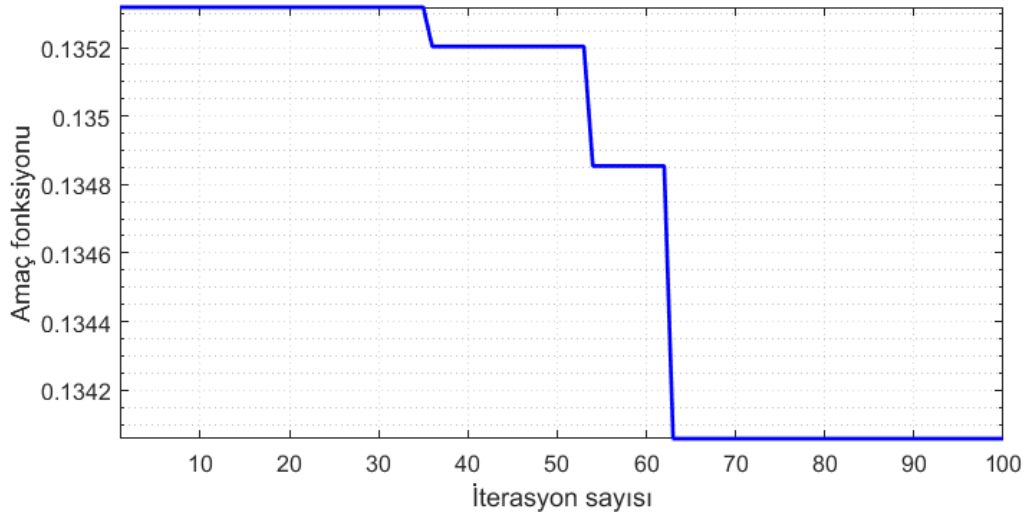


(b) ABA

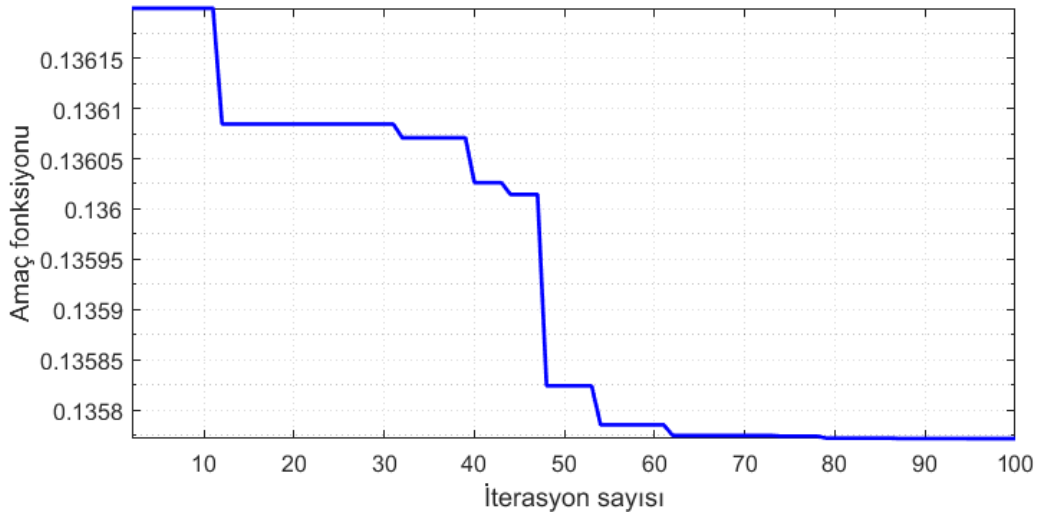


(c) GKOA

Şekil 6.5. Yakınsama grafiklerinin iterasyon sayısına göre değişimi (devamı)



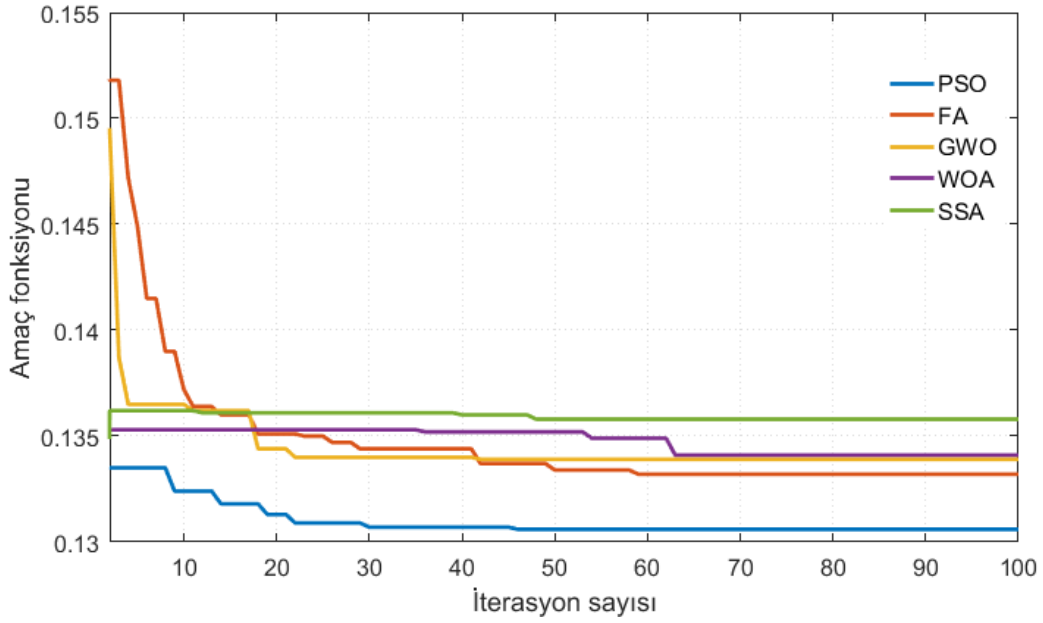
(d) BOA



(e) SSA

Şekil 6.5. Yakınsama grafiklerinin iterasyon sayısına göre değişimi (devamı)





(f) Bütün algoritmaların yakınsama grafiklerinin bir arada gösterimi

Şekil 6.5. Yakınsama grafiklerinin iterasyon sayısına göre değişimi (devamı)

PSOA algoritmasının yakınsama grafiği şekil 6.5(a)'da verilmiştir. Arama uzayı sınırları içinde PSO algoritması rastgele çözüm ile optimizasyon sürecine başlamıştır. 0,1335 amaç fonksiyonu değeri ile başlayan süreç 9. iterasyonda 0,1324, 14. iterasyonda 0,1318, 19. iterasyonda 0,1313, 22. iterasyonda 0,1309 ve 30. iterasyonda 0,1307 ve 46. iterasyonda ise PSO algoritmasının minimum amaç fonksiyonu çözümü olan 0,1306 değerine ulaşılmıştır. Parçacıkların rastgele çözümü ile başlayan optimizasyon süreci kademeli olarak minimize edilmiştir. PSO algoritması başlangıç çözümünü %3,62 oranında minimize ederek çözüme ulaşmıştır.

İkinci yakınsama grafiği ABA algoritmasına aittir ve şekil 6.5(b)'de verilmiştir. ABA algoritmasında ateş böcekleri rastgele çözüm ile başlamışlardır. Amaç fonksiyonu ilk iterasyonda 0,1564 değerini alarak çözüme başlamış ve aşamalı olarak yapılan minimizasyon ile algoritmanın minimum amaç fonksiyonu değeri olan 0,1332 değerine 59. iterasyonda ulaştığı görülmüştür. ABA algoritması %14,83 oranında başlangıç çözümünü minimize etmiştir.

Şekil 6.5(c)'de üçüncü algoritma olan GKOA algoritmasının yakınsama grafiği verilmiştir. Gri kurtlar rastgele çözüm ile sürecini 0,1534 ile başlatmış ve 42. iterasyondan 0,1339 değerine ulaştığı görülmüştür. Kademeli azalma ile gerçekleşen bu süreçte başlangıç değeri %12,71 oranında minimize edilmiştir.

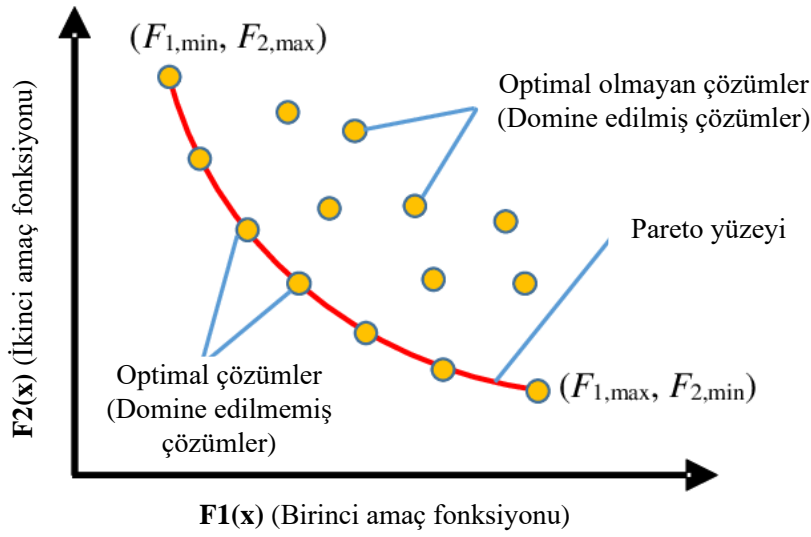
BOA algoritmasının yakınsama grafiği şekil 6.5(d)'de verilmiştir. BOA algoritmasında balinalar rastgele çözüm ile optimizasyon sürecini başlamışlardır. 0,1353 değeri ile başlayan minimizasyon süreci 63. iterasyonda nihai değeri olan 0,1341 sonucuna ulaşılmış ve BOA ile başlangıç değeri %0,89 oranında minimize edilmiştir.

Beşinci meta sezgisel algoritma olan SSA'nın yakınsama grafiği ise şekil 6.5(e)'de verilmiştir. Salpların amaç fonksiyonu 0,1362 değerini alarak çözüme başlamış ve aşamalı olarak yapılan minimizasyon ile algoritmanın minimum amaç fonksiyonu değeri olan 0,1358 değerine 48. iterasyonda ulaştığı görülmüştür. SSA algoritması %0,29 oranında başlangıç çözümünü minimize etmiştir.

Minimum amaç fonksiyonu 0,1306 değeri ile PSOA ile elde edilmiş ve diğer algoritmalar ise bu algoritmanın bulduğu değere yakın sonuçlar elde etmişlerdir. Rastgele başlangıç çözümünden nihai sonuca ulaşana kadar en büyük derecede minimizasyonu %14,83 ile ABA gerçekleştirirken, SSA ise %0,29 ile nihai çözüme yakınsamıştır.

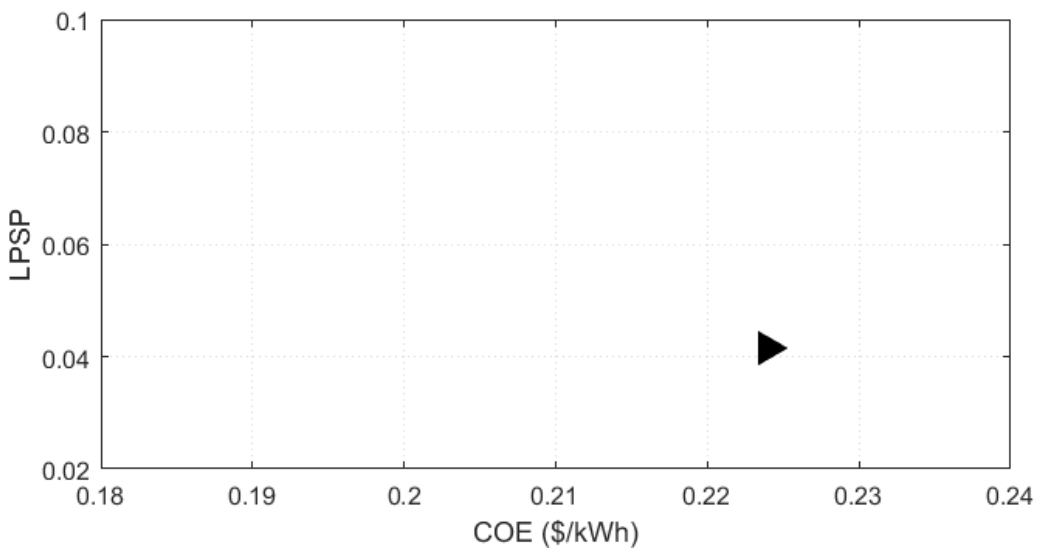
## 6.7. COE ve LPSP Çıktıları

İki yada daha fazla hedefin karar vermeyi etkilediği uygulamalar çok amaçlı problemlerdir. Bu problemlerde tek bir amacın iyileştirilmesi ideal çözümün bulunmasında yeterli olmamaktadır. Bu sebeple amaçlar arasında fedakârlık yapılarak hedefin iyileştirilmesi ve şekil 6.6'da verilen pareto optimalliği çözümünün üretilmesi gereklidir. Şekilde iki adet amaç ve bu amacın birbirine göre değişimi verilmiştir. Pareto optimalliğine göre birbirlerine baskın gelebilen çözümler domine edilmiş çözüm olarak adlandırılır ve bunlar problemin ideal çözümleri değildir. Birbirlerine galip gelemeyen çözümler domine edilmemiş çözüm olarak adlandırılır ve bu domine edilmemiş çözümler çok amaçlı problemlerin esas ilgi alanını oluşturmaktadır.



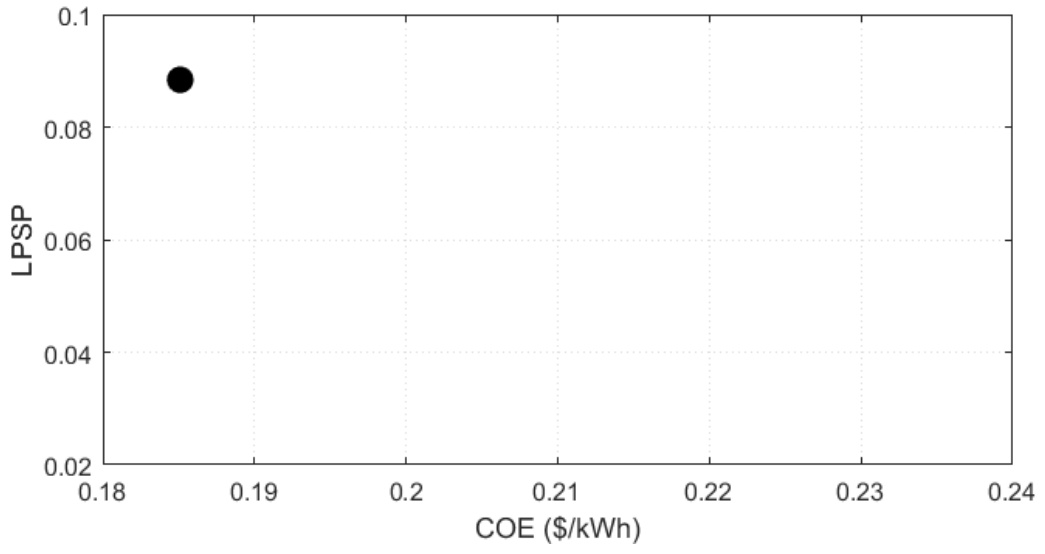
Şekil 6.6. Pareto optimal çözüm

Bu tez çalışması ile COE ve LPSP'den oluşan iki amaçlı bir probleme çözüm aranmıştır. Algoritmaların minimizasyon işlemi sonucunda elde ettiği COE'ye karşın LPSP'nin durumu şekil 6.7'de önce bireysel çıktı olarak, son resimde de bütün algoritmaların çıktıları aynı grafikte verilmiştir. PSOA algoritması COE ve LPSP'yi 0,2240 \$/kWh ve 0,0415, ABA algoritması 0,1851 \$/kWh ve 0,0884, GKOVA algoritması 0,2078 \$/kWh ve 0,0634, BOA algoritması 0,2365 \$ kWh ve 0,0281 ve SSA algoritması ise 0,2182 \$/kWh ve 0,0534 olarak hesaplamıştır.

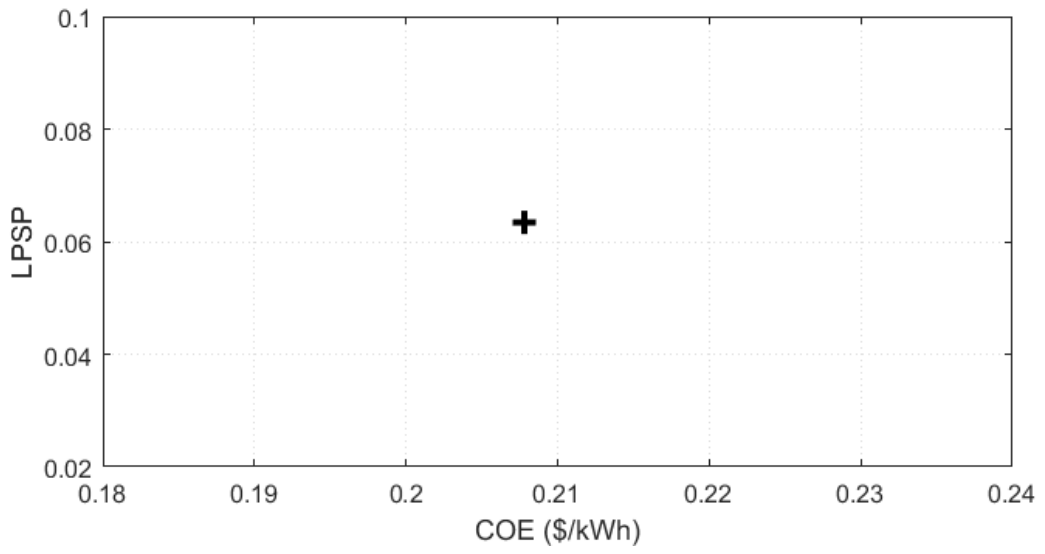


(a) PSOA

Şekil 6.7. Algoritmaların COE ve LPSP çıktıları

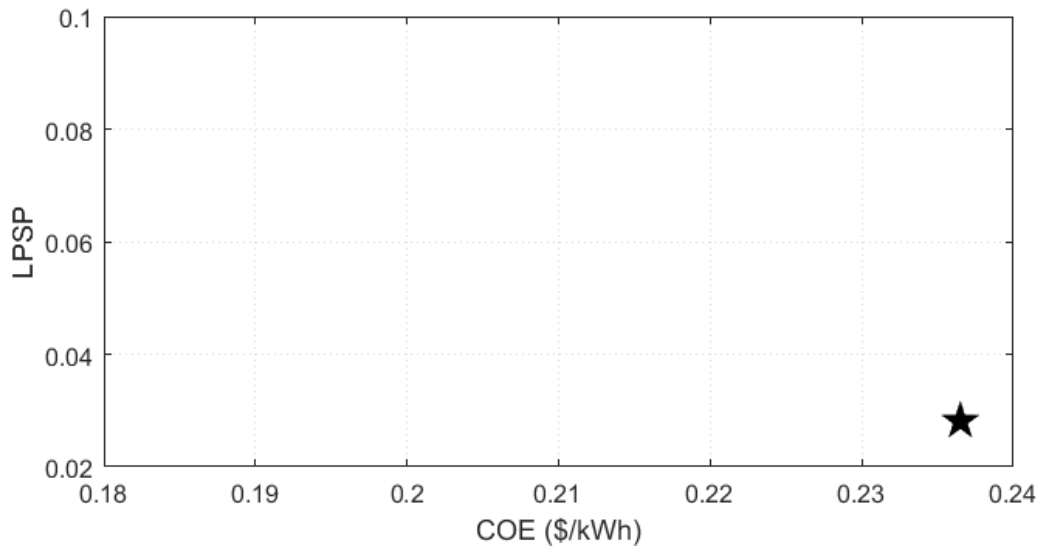


(b) ABA

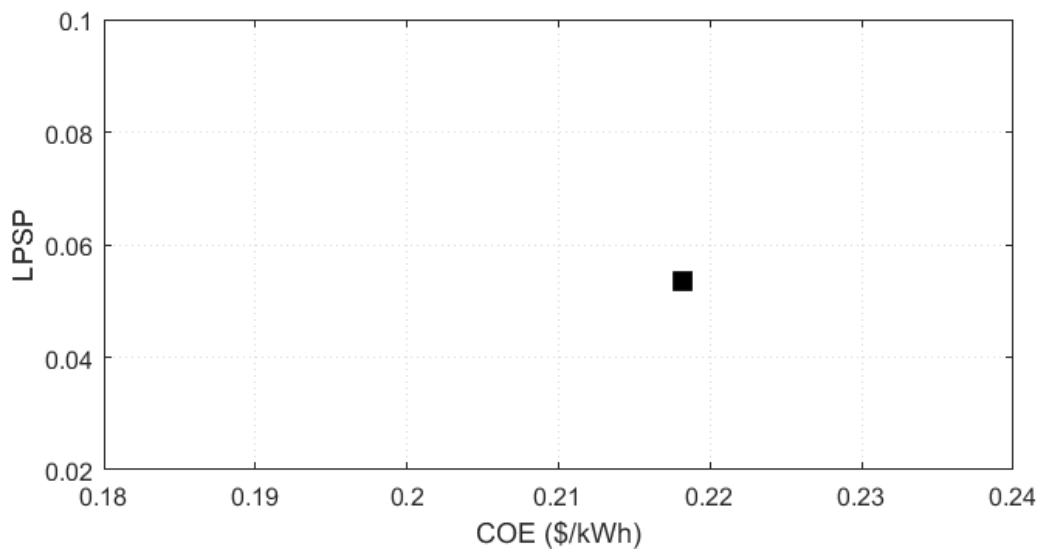


(c) GKO A

Şekil 6.7. Algoritmaların COE ve LPSP çıktıları (devamı)

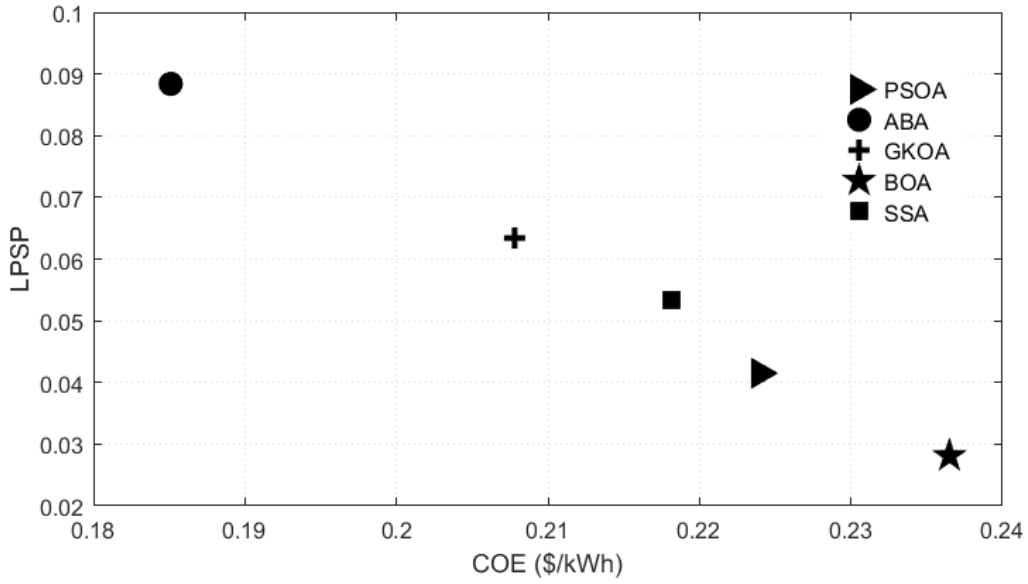


(d) BOA



(e) SSA

Şekil 6.7. Algoritmaların COE ve LPSP çıktıları (devamı)



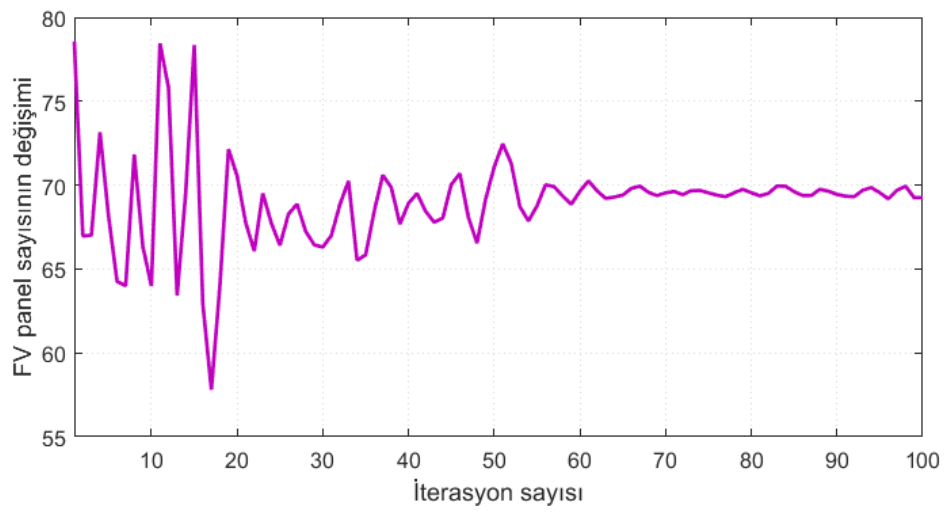
(f) Bütün algoritmaların çıktılarının aynı grafikte gösterimi

Şekil 6.7. Algoritmaların COE ve LPSP çıktıları (devamı)

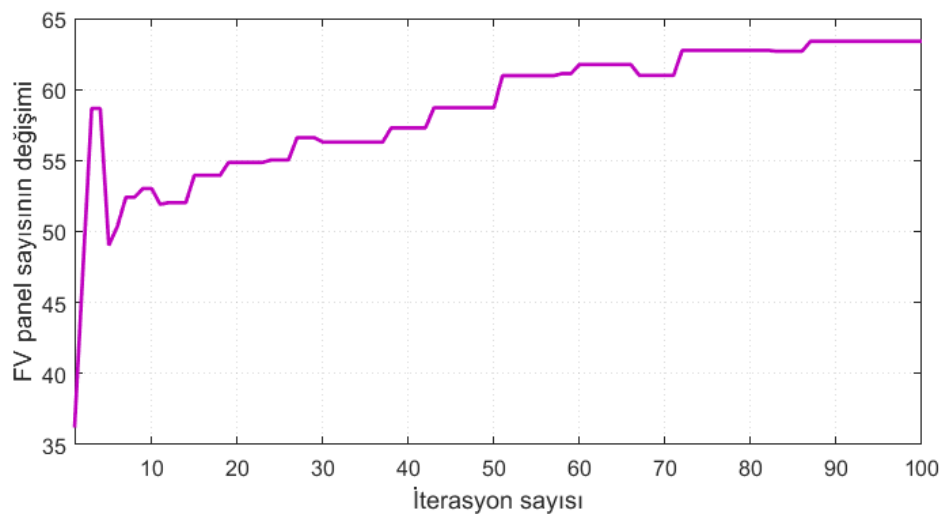
Şekil 6.7(f) incelendiğinde algoritmaların bulduğu çözümlerin pareto yüzeyinde bulunan domine edilmemiş optimal çözümler olduğu görülmüştür. Bu çözümler ise COE ve LPSP dengesi ile ilgili olup bir değişkenin sıfıra indirgenmesi diğer değişkenin değerinin artması anlamına gelip birbirlerine galip gelemeyen çözümleri temsil etmektedir. Şekil incelendiğinde en düşük COE değeri ABA ile en yüksek değer ise BOA ile elde edilmiştir. En düşük LPSP BOA ile elde edilirken en yüksek LPSP değerini ise ABA üretmiştir. Buradan hareketle en düşük amaç fonksiyonunu üreten PSOA optimal çözüme daha yakındır.

## 6.8. FV Gücün Değişimi

Algoritmalar mikro şebekede kullanılacak FV gücün değerini belirlemek için FV panel sayısını araştırmışlardır. Popülasyonda yer alan birinci parçacıkların FV panel sayısını araştırırken izledikleri yolun iterasyon sayısına göre değişimi şekil 6.8'de verilmiştir. PSOA algoritması panel sayısını 69,3193 adet, ABA 63,3953, GKO 62,6443, BOA 68,2438 ve SSA ise 58,0890 adet olarak belirlemiştir.

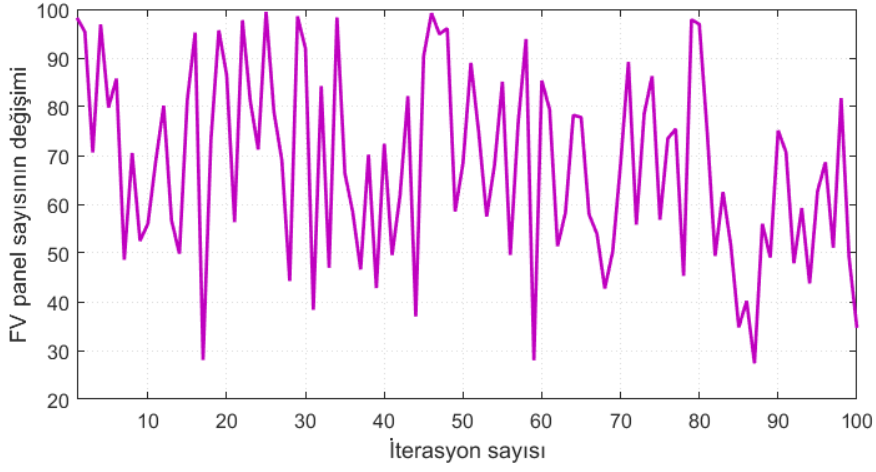


(a) PSO

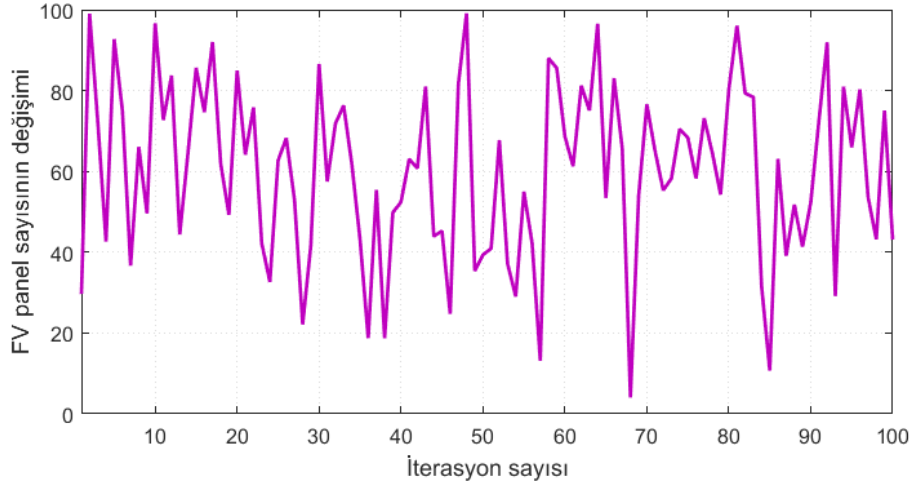


(b) ABA

Şekil 6.8. FV panel sayısının iterasyon sayısına göre değışimi



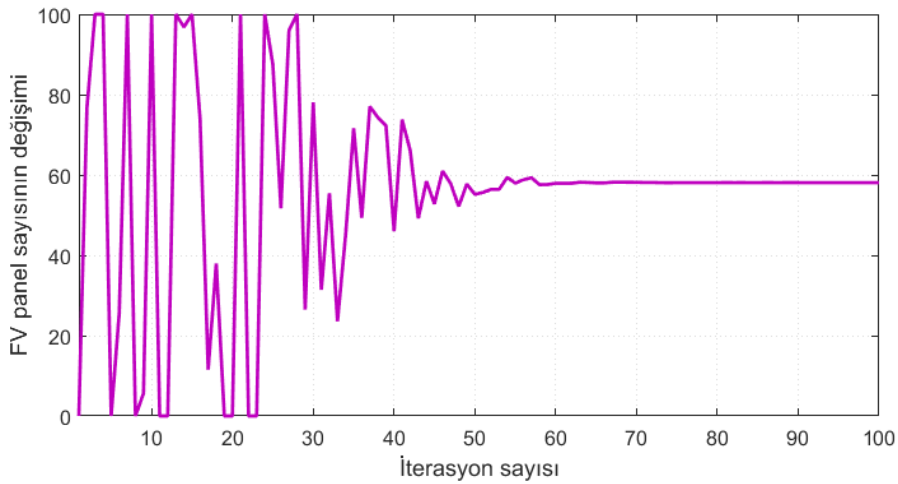
(c) GKO



(d) BOA

Şekil 6.8. FV panel sayısının iterasyon sayısına göre değışimi (devamı)





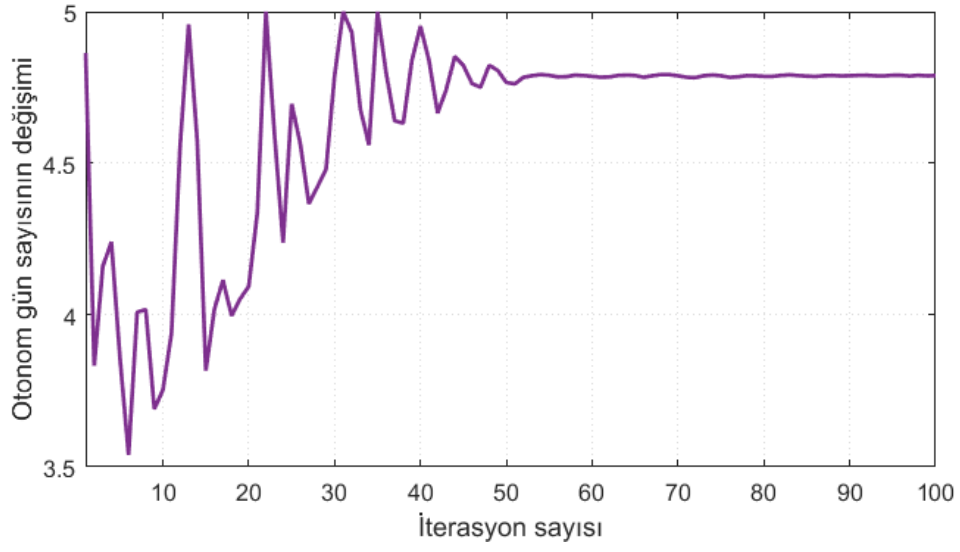
(e) SSA

Şekil 6.8. FV panel sayısının iterasyon sayısına göre değişimi (devamı)

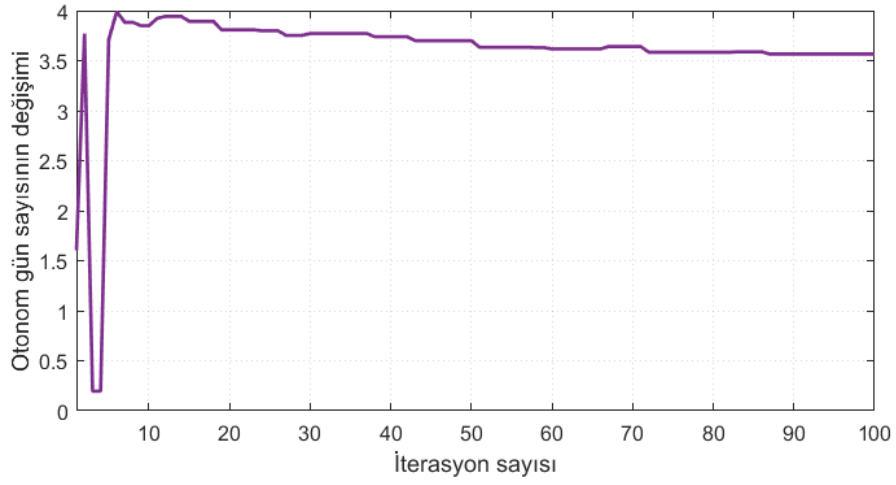
Şekil 6.8(a), (b) ve (e)'de görüldüğü üzere PSO, ABA ve SSA belirli bir iterasyondan sonra sabit bir FV panel sayısına ulaşırken, şekil 6.8(c) ve (d)'de görülen GKO ve BOA algoritmasının iterasyon süresince FV panel sayısını araştırmaya devam ettiği görülmektedir. Bunun sebebi PSO, ABA ve SSA algoritmalarının pozisyon aramalarını tek bir formül ile gerçekleştirip pozisyonlarını güncellerken, GKO ve BOA algoritmasının birden fazla konum vektörü ile çalışmaktadır. GKO ve BOA algoritmasının parametrelere bağlı olarak çalışılan konum vektörünün değişimi sürekli olarak arama uzayında arama gerçekleştirdiği anlamına gelmektedir.

## 6.9. Batarya Kapasitesinin Değişimi

Algoritmalar mikro şebekede kullanılacak batarya kapasitesinin belirlemek için bataryanın otonom çalışacağı gün sayısını araştırmışlardır. FV panel sayısında olduğu gibi bataryanın otonom çalışacağı gün sayısı içinde algoritma popülasyonunda yer alan birinci parçacıkların iterasyon sayısına göre değişimi şekil 6.9'da verilmiştir. PSO bataryanın otonom çalışabileceği gün sayısını 4,7912 gün, ABA 3,5664, GKO 4,3714, BOA 4,7716 ve SSA ise 3,6375 gün olarak belirlemiştir.

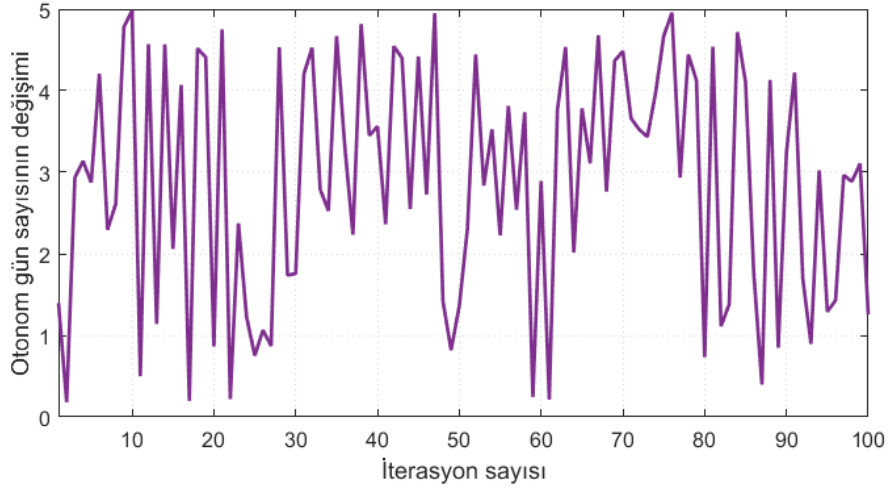


(a) PSO

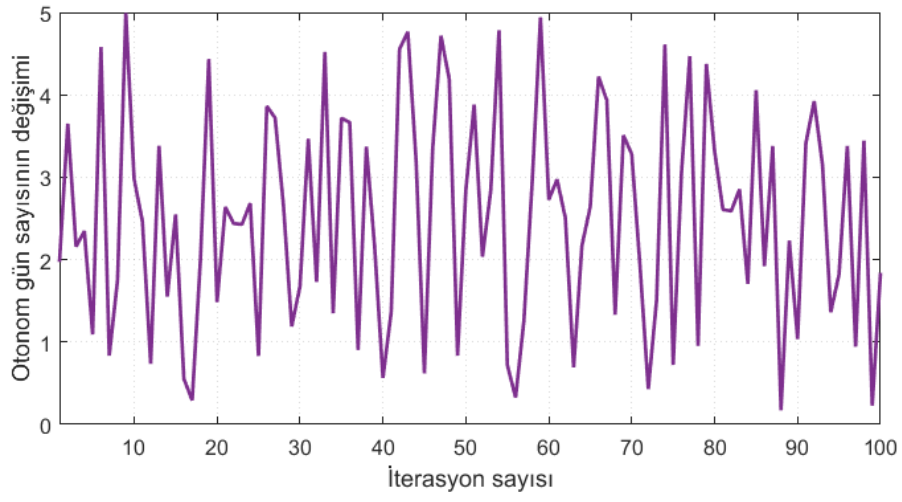


(b) ABA

Şekil 6.9. Otonom çalışma gün sayısının iterasyon sayısına göre değişimi

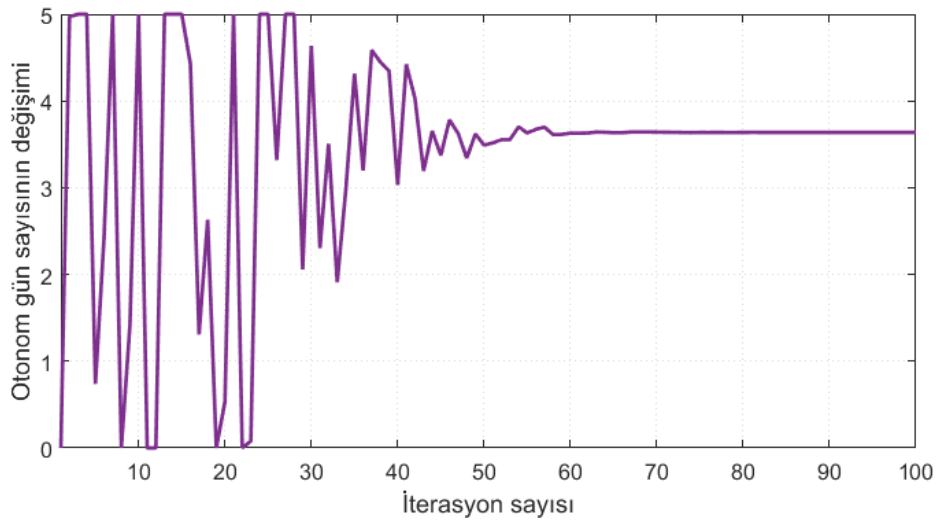


(c) GKO



(d) BOA

Şekil 6.9. Otonom çalışma gün sayısının iterasyon sayısına göre değişimi (devamı)



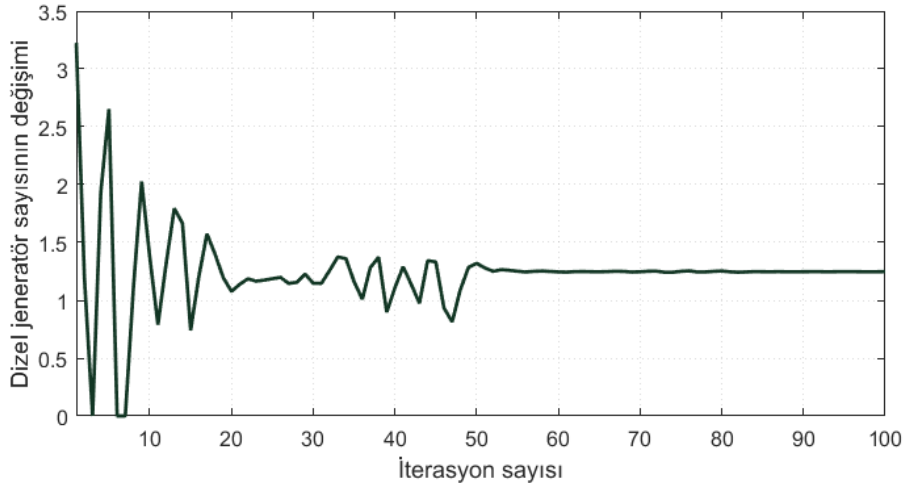
(e) SSA

Şekil 6.9. Otonom çalışma gün sayısının iterasyon sayısına göre değişimi (devamı)

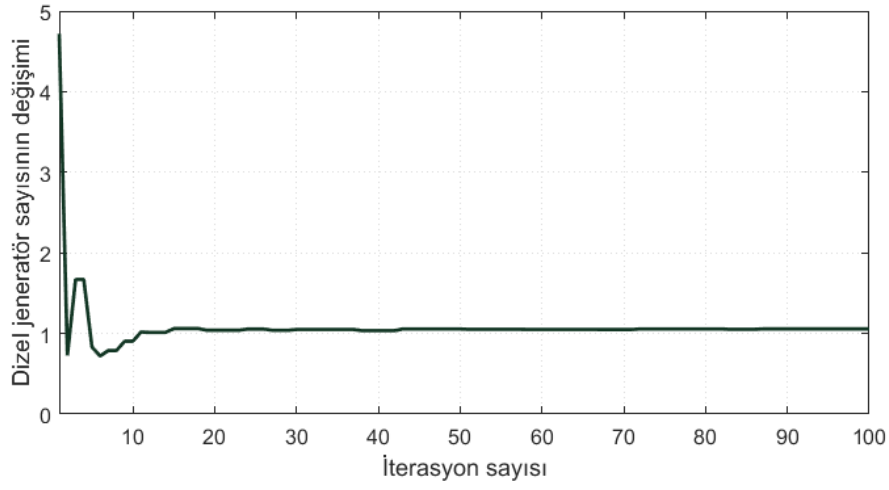
Şekil incelendiğinde PSOA, ABA ve SSA'nın belirli bir iterasyondan sonra sabit bir değere ulaştığı görülürken, GKOA ve BOA algoritmalarının iterasyon süresince otonom gün sayısını araştırmaya devam ettiği görülmektedir. FV panel sayısının araştırılmasında olduğu gibi bunun sebebi PSOA, ABA ve SSA algoritmalarının tek bir pozisyon güncelleme vektörünü kullanırken ve diğer iki algoritmanın parametrelerine bağlı olarak seçim yaptığı pozisyon vektörünü değiştirebilmesi neticesinde sürekli olarak arama uzayında arama yapmasıdır.

### 6.10. Dizel Jeneratör Gücünün Değişimi

Mikro şebekede FV panel sayısı ve otonom gün sayısının algoritmalar araştırılmasının ardından son bileşen dizel jeneratör kapasitesinin belirlenmesi için dizel jeneratörün sayısını araştırılmasıdır. Popülasyonda yer alan ve dizel jeneratörün sayısını araştıran birinci parçacıkların iterasyon sayısına izlediği yol şekil 6.10'da verilmiştir. PSOA dizel jeneratör sayısını 1,2468 adet, ABA 1,0569, GKOA 1,1401, BOA 1,4991 ve SSA ise 1,4140 adet olarak belirlemiştir.

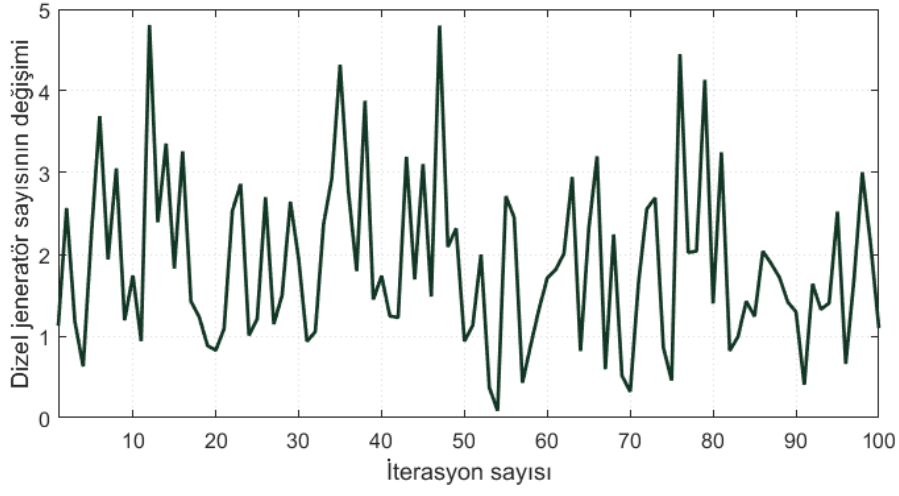


(a) PSOA

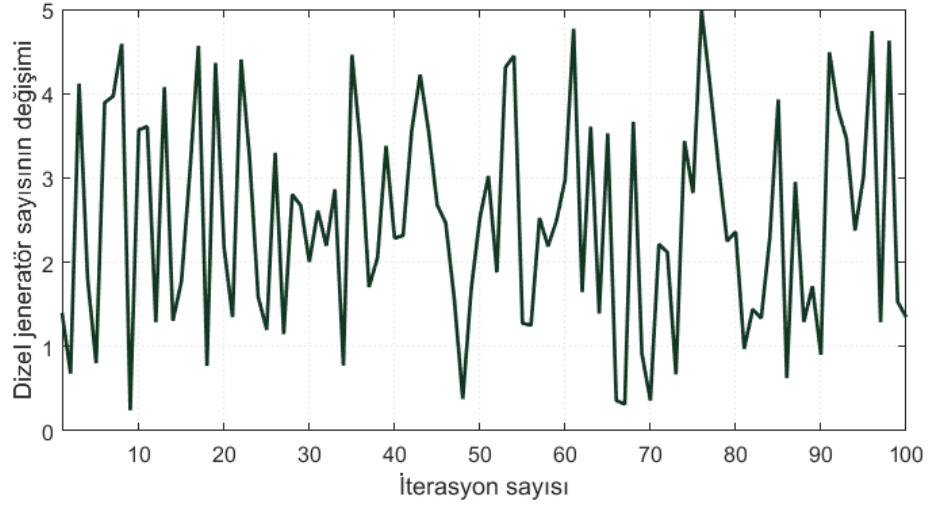


(b) ABA

Şekil 6.10. Dizel jeneratör sayısının iterasyon sayısına göre değişimi

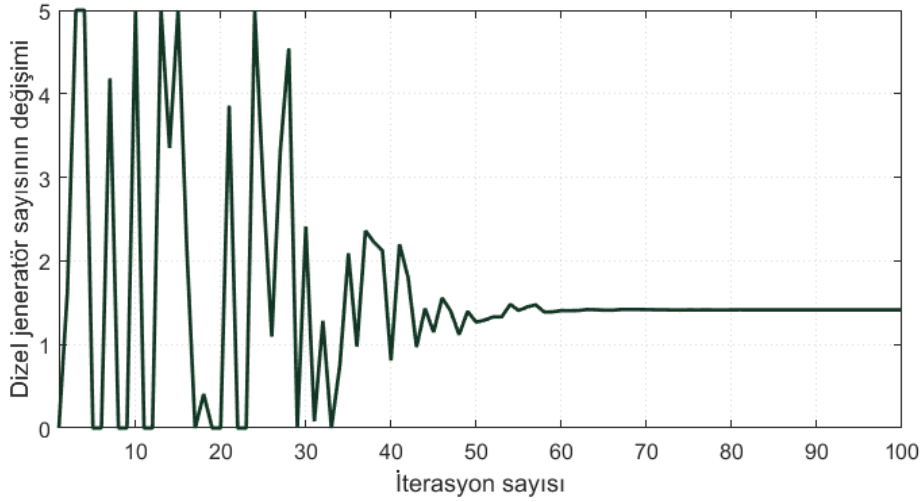


(c) GKO



(d) BOA

Şekil 6.10. Dizel jeneratör sayısının iterasyon sayısına göre değişimi (devamı)



(e) SSA

Şekil 6.10. Dizel jeneratör sayısının iterasyon sayısına göre değişimi (devamı)

Şekil incelendiğinde PSO, ABA ve SSA algoritmalarının belirli bir iterasyondan sonra sabit bir değere ulaştığı görülürken, GKO ve BOA algoritmalarının iterasyon süresince dizel jeneratör sayısını araştırmaya devam ettiği görülmektedir. Bunun sebebi ise FV güç sistemi sayısını ve otonom gün sayısını araştırırken karşılaşılan farklı algoritmaların farklı matematiksel alt yapı ile çözüm arama sürecidir.

## 6.12. Algoritmaların Değerlendirilmesi Ve Karşılaştırılması

Boyutlandırma optimizasyonunu gerçekleştiren algoritmalar önceki on bölümde ayrıntılı olarak incelenmiş ve bu bölümde ise önceki bölümlerin özeti niteliğinde algoritmaların değerlendirilmesi ve karşılaştırılması verilmiştir. Çizelge 6.7’de COE, LPSP, amaç fonksiyonunun uygunluğu, amaç fonksiyonunun standart sapması, optimizasyon zamanı, optimizasyon zamanının standart sapması ve yıllığa indirgenmiş toplam maliyet verilerinin minimumdan maksimuma doğru algoritmaların sıralaması verilmiştir.

Çizelge 6.7. Algoritmaların karşılaştırılması

Karşılaştırma kriterleri	Birim	Algoritmalar				
		1 (Minimum)	2	3	4	5 (Maksimum)
COE	\$/kWh	ABA	GKOA	SSA	PSOA	BOA
LPSP	-	BOA	PSOA	SSA	GKOA	ABA
Amaç fonksiyonunun uygunluğu	-	PSOA	ABA	GKOA	BOA	SSA
Amaç fonksiyonunun standart sapması	-	GKOA	BOA	PSOA	ABA	SSA
Optimizasyon zamanı	Saniye	SSA	PSOA	GKOA	BOA	ABA
Optimizasyon zamanının standart sapması	-	SSA	PSOA	BOA	GKOA	ABA
Yılığa indirgenmiş toplam maliyet	\$	ABA	GKOA	BOA	PSOA	WOA

Algoritmaların performansı amaç fonksiyonların ilki olan COE açısından değerlendirildiğinde en düşük COE değeri ABA ile en yüksek sonuç ise BOA ile elde edilmiştir. COE'ye ek olarak algoritmalar amaç fonksiyonlarının ikincisi olan LPSP açısından değerlendirildiğinde en düşük LPSP değeri BOA ile en yüksek sonuç ise ABA ile elde edilmiştir. Bu iki amacın birleşiminden oluşan amaç fonksiyonunun en iyi değeri PSOA ile üretilmiştir. Her bir denemede elde edilen amaç fonksiyonunun standart sapması en düşük olan GKOA algoritmasıdır ve yaklaşık sifıra yakın bir değer elde edilmiştir. Optimizasyon süresini en hızlı tamamlayan ve optimizasyon zamanının standart sapması en düşük olan algoritma SSA'dır. Son olarak algoritmalar yıllığa indirgenmiş maliyet açısından kıyaslandığında ise ABA en düşük çalışma maliyetine sahip olan algoritmadır.

Algoritmalar genel olarak değerlendirildiğinde ise bütün algoritmalar boyutlandırma optimizasyonunda başarılı performans sergilemişlerdir. Amaç fonksiyonunu minimize etmede gösterdikleri performans pareto optimalliğinde yerini almada belirleyici olduğu için algoritmalar PSOA, ABA, GKOA, BOA ve SSA olarak sıralanmıştır. Çizelge 6.8'de algoritmaların avantaj ve dezavantajları ile ilgili genel değerlendirme verilmiştir.



Çizelge 6.8. Algoritmaların avantaj ve dezavantajlarının karşılaştırılması

Algoritma	Avantajları	Dezavantajları
<b>PSOA</b>	<p>Hafızaya sahiptir.</p> <p>Sürekli problemleri çözmek için etkilidir.</p> <p>Uygulanması basit olabilir.</p> <p>Ayarlanması gereken birkaç parametre var.</p> <p>Paralel hesaplamada güçlü çalışmaktadır.</p> <p>Global optimal noktayı bulmada daha yüksek olasılık ve verimlilik sağlar.</p> <p>Kısa hesaplama süresine sahiptir.</p> <p>Doğru matematik modelleri bulmakta zorluk çeken problemleri çözmek için etkili olabilir.</p>	<p>Erken yakınsama problemi yaşanabilir.</p> <p>Lokal optimum noktalarda arama yeteneği zayıftır.</p> <p>İlk tasarım parametrelerini tanımlamak zor olabilir</p> <p>Özellikle karmaşık problemlerle yerel bir minimumda sıkışma gibi tuzaklara düşebilir. Dolayısıyla global optimum noktaya ulaşamayabilir.</p>
<b>ABA</b>	<p>Anlaması ve kodlaması kolaydır.</p> <p>Lineer olmayan ve çok amaçlı optimizasyon problemlerinde iyidir ve etkili çalışır.</p> <p>Yakınsama hızı yüksek olduğu için global optimum cevabını bulma olasılığı yüksektir.</p>	<p>Yavaş yakınsama problemi yaşayabilir.</p>
<b>GKOA</b>	<p>Yapısı basittir.</p> <p>Az depolama ve hesaplama gereksinimi vardır.</p> <p>Arama alanının sürekli azalması nedeniyle daha hızlı yakınsama sağlar.</p> <p>Karar değişkenleri azdır.</p>	<p>Ava saldırırken durgunluğa düşebilir.</p> <p>Yakınsama hızı geç arama döneminde kademeli olarak yavaşlar.</p>
<b>BOA</b>	<p>Yapısı basittir.</p> <p>Sadece iki ayar parametresi vardır ve A parametresi ayarlanarak yakınsama ve arama arasındaki denge kurularak yerel optimumdan uzaklaşılır.</p>	<p>Arama alanı araştırması iyi olmayabilir.</p>
<b>SSA</b>	<p>Yeni bir algoritmadır.</p> <p>Uygulanması kolay ve az parametre ile hesaplama maliyeti düşüktür.</p>	<p>Yavaş yakınsama hızı ve yerel optimuma takılabilir.</p>

## 7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında ada modlu çalışan bir mikro şebekenin boyutlandırma optimizasyonunun gerçekleştirilmesi için bir model tasarlanmış ve enerji yönetimi stratejisi geliştirilmiştir. Tasarlanan optimizasyon modelinde; ekonomik ve güvenilirlik değerlendirme kriterlerini sağlayacak çok amaçlı bir problem ele alınmıştır. Bu çok amaçlı problemin birinci amacını bir ekonomik değerlendirme kriteri olan COE ve ikinci amacını ise bir güvenilirlik değerlendirme kriterleri olan LPSP oluşturmuştur. Belirlenen amaçların bir araya geldiği bir amaç fonksiyonu doğrultusunda tasarlanan modelin test edilmesi için seçilen beş meta sezgisel algoritma ile enerji ve boyutlandırma optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan ada modlu mikro şebeke modeline boyutlandırma optimizasyonu uygulanarak bileşenlerin optimum kapasiteleri bulunmuş, dağıtık üretim kaynaklarından en verimli şekilde yararlanılmış ve mikro şebekeden her durum için talep edilen elektrik enerjisi güvenilir şekilde yüke aktırılmıştır. Ayrıca modelin boyutlandırma optimizasyonu için araç olarak kullanılan meta sezgisel algoritmalar problemin çözümünde başarılı performans sergilemişlerdir.

İlerleyen aşamalarda yapılması planlanan çalışmalarda ada modlu mikro şebekeler için farklı çalışma senaryoları ve gerçek veriler kullanılarak enerji yönetim modelinin geliştirilmesi düşünülmektedir. Belirlenen bir bölge için elde edilecek olan yıllık ışınlım, sıcaklık ve yük verileri ile tasarım çalışmaları geliştirilerek, ışınlım ve sıcaklığın tahmin edilmesi gibi pozitif katkıların oluşturulan modele eklenmesi planlanmaktadır. Sabit yük verilerine ek olarak yükler gerçek zamanlı veriler ile uyumlandırılıp belirli bir yüzde ile değişken hale getirilecektir. Işınım ve sıcaklığın tahmin edildiği ve yükün dinamik olduğu girdilerin oluşturduğu model bu beş meta sezgisel algoritmanın ve bu algoritmaların hibrit versiyonları bir araya getirilerek ve bireysel performans ile hibrit performanslar karşılaştırılacaktır. Bu beş meta sezgisel algoritmaya sürü zekası kategorisinde çalışan farklı algoritmalar dahil edilecek, ekonomik ve güvenilirlik değerlendirme kriterlerine ek olarak çevresel ve sosyal kriterlerde eklenerek model geliştirilecektir.

Yapılan bu çalışma, teorik düzeyde gelecek vaat eden mikro şebekelerin uygulamaya geçirilmesi sürecinde en önemli rolü oynayacak ve çeşitli değerlendirme kriterlerini

kullanarak bileşenlerin optimum kapasitelerinin belirlenmesinde kullanılacaktır. Detaylı tasarım süreçlerinin çıktısı olarak karşımıza çıkan mikro şebekelerin kurulumu ile birey bazından ülke bazına kadar katkılar sağlanacaktır. Günümüzde popüler olan mikro şebekeler gelecekte üretim ve depolama teknolojilerinin gelişmesiyle ve elektrikli araçların da sisteme dâhil olmasıyla daha da önemli bir hal alacaktır. Daha küçük finansal yatırımlar ile kurulan mikro şebekeler ile elektrik enerjisi güvenilirliği artırılmaktadır. Şebeke bağlantılı mikro şebekelerde, ana güç şebekesinde herhangi bir sorun olduğunda kendini izole edebilmektedir. Buna ilaveten mikro şebekenin bünyesinde bulunan enerji depolama birimleri ve jeneratörler ile kullanıcıların elektriksiz kalmasının önüne geçilmiş olacaktır. Mikro şebekeler ile optimal enerji yönetimi yapılarak sistemin verimli çalıştırılması ve enerji fazlasının ortaya çıkması durumunda, fazla enerji şebekeye satılarak gelir sağlanabilecektir. Tüketici konumunda olan kullanıcılar mikro şebekeler ile üretici konumuna geçebilecek, gelir elde edebilecek ve enerji maliyetleri aşağı çekilebilecektir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının şebekelere entegrasyonu ile bölgesel enerji potansiyeli yerli enerjiye çevrilecek ve temiz enerji kullanımı teşvik edilmiş olacaktır. Güneş enerjisi ve rüzgâr enerjisi gibi yeşil enerji kaynakları kullanılarak tasarlanan sistemler, kullanıcıları belirlenen temiz ve sürdürülebilir enerji hedeflerini yakalamak için çevre dostu yatırımlar yapmaya teşvik etmektedir. Ekonomik planlamaların bir parçası haline getirilmesi gereken mikro şebekeler ile yeni iş imkânları yaratılacak ve istihdam sağlanacaktır. Ayrıca kırsal ve izole bölgelerin elektrik enerjisine erişimi sağlanarak ekonomik gelişme desteklenecektir.

## KAYNAKLAR DİZİNİ

- Abdel-mawgoud, H., Kamel, S., Yu, J., Juradoc, F., 2019, Hybrid Salp Swarm algorithm for integrating renewable distributed energy resources in distribution systems considering annual load growth, *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2019.08.011> (In Press).
- Alhelou, H.H., Hayek, G., 2019, *Handbook of research on smart power system operation and control*, IGI Global.
- Alomoush, W., Omar, K., Alrosan, A., Alomari, Y.M., Albashish, D., Almomani, A. 2018, Firefly photinus search algorithm, *Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences*, <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2018.06.010> (In Press).
- Al-Saedi, W., vd., 2012, Power quality enhancement in autonomous microgrid operation using particle swarm optimization, *Electrical Power and Energy Systems*, 42, 139-149, 2012.
- Arup, 2019, Five minute guide: Microgrids ( $\mu$ G), <https://www.arup.com/perspectives/publications/promotional-materials/section/five-minute-guide-to-microgrids>, erişim tarihi: 30.12.2019.
- Azaza, M., Wallin, F., 2017, Multi objective particle swarm optimization of hybrid micro-grid system: A case study in Sweden, *Energy*, 123, 108-118.
- Boudoudouh, S., Maâroufi, M., 2018, Multi agent system solution to microgrid implementation, *Sustainable Cities and Society*, 39, 252-261.
- Cardoso, G., Brouhard, T., DeForest, N., Wang, D., Heleno, M., 2018, Battery aging in multi-energy microgrid design using mixed integer linear programming, 231, 1059-1069.
- Çetinbaş, İ., Tamyürek B., Demirtaş M., 2017, Mikro şebeke topolojileri ve Türkiye'nin yenilenebilir enerji potansiyelinin mikro şebekeler açısından değerlendirilmesi, 9. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi, Elektrik Mühendisleri Odası, 152-158.
- Diaz, V.G.P., Bonilla, J.P.Z., 2019, *Handbook of Research on Industrial Advancement in Scientific Knowledge*, IGI Global.
- El-Sehiemy, R.A., Selim, F., Bentouati, B., Abido, M.A., 2020, A novel multi-objective hybrid particle swarm and salp optimization algorithm for technical-economical-environmental operation in power systems, *Energy*, 193, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116817>.
- Gholami, K., Dehnav, E., 2019, A modified particle swarm optimization algorithm for scheduling renewable generation in a micro-grid under load uncertainty, *Applied Soft Computing Journal*, 78, 496-514.

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Guo, W., Liu, T., Dai, F., Xu, P., 2020, An improved whale optimization algorithm for forecasting water resources demand, *Applied Soft Computing Journal*, 86, <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2019.105925>.
- Halabi, L.M., Mekhilef, S., Olatomiwa, L., Hazelton, J., 2017, Performance analysis of hybrid PV/diesel/battery system using HOMER: A case study Sabah, Malaysia, *Energy Conversion and Management*, 144, 322-339.
- Homer, 2019, <https://www.homerenergy.com/products/pro/docs/3.13/index.html>, erişim tarihi: 30.12.2019.
- Hossain, M.S., Pota, H.R., Hossain, M.J., Blaabjerg, F., 2019, Evolution of microgrids with converter-interfaced generations: Challenges and opportunities, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 109, 160-186.
- Justo, J.J., Mwasilu, F., Lee, J., Jung, J.W., 2013, AC-microgrids versus DC-microgrids with distributed energy resources: a review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 24, 387-405.
- Kaabeche, A., Diaf, S., Ibtouen, R., 2017, Firefly-inspired algorithm for optimal sizing of renewable hybrid system considering reliability criteria, *Solar Energy*, 155, 727-738.
- Koltsaklis, N.E., Giannakakis, M., Georgiadis, M.C., 2018, Optimal energy planning and scheduling of microgrids, *Chemical Engineering Research and Design*, 131, 318-332.
- Kumar, P., vd., 2018, *Handbook Of Research On Power And Energy System Optimization*, IGI Global.
- Kumar, V.N., 2018, *Handbook of Research on Power and Energy System Optimization*, IGI Global.
- Lian, J., Zhang, Y., Ma, C., Yang, Y., Chaima, E., 2019, A review on recent sizing methodologies of hybrid renewable energy systems, *Energy Conversion and Management*, 112027.
- Lingamuthu, R., Mariappan, R., 2019, Power flow control of grid connected hybrid renewable energy system using hybrid controller with pumped storage, *International Journal of Hydrogen Energy*, 44, 3790-3802.
- Mashayekh, S., Stadler, M., Cardoso, G., Heleno, M., 2017, A mixed integer linear programming approach for optimal DER portfolio, sizing, and placement in multi-energy microgrids, 187, 154-168.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

- Mengelkamp, E., Gärttner, J., Rock, K., Kessler, S., Orsini, L., Weinhardt, C., 2018, Designing microgrid energy markets A case study: The Brooklyn Microgrid, *Applied Energy*, 210, 870-880.
- Miao, D., Chen, W., Zhao, W., Demas, W., 2020, Parameter estimation of PEM fuel cells employing the hybrid grey wolf optimization method, 193, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116616>.
- Mirjalili, S., Gandomi, A.H., Mirjalili, S.Z., Saremi, S., Faris, H., Mirjalili, S.M., 2017, Salp swarm algorithm: A bio-inspired optimizer for engineering design problems, *Advances in Engineering Software*, 114, 163-191.
- Mirjalili, S., Lewis, A., 2016, The whale optimization algorithm, *Advances in Engineering Software*, 95, 51-67.
- Mirjalili, S., Mirjalili, S.M., Lewis, A., 2014, Grey wolf optimizer, *Advances in Engineering Software*, 69, 46-61.
- Neggaz, N., Ewees, A.A., Elaziz, M.A., Mafarja, M., 2020, Boosting salp swarm algorithm by sine cosine algorithm and disrupt operator for feature selection, *Expert Systems With Applications*, 145, <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2019.113103>.
- Othman, M.M., El-Khattam, W., Hegazy, Y.G., Abdelaziz, A.Y., 2016, Optimal placement and sizing of voltage controlled distributed generators in unbalanced distribution networks using supervised firefly algorithm, *Electrical Power and Energy Systems*, 82, 105-113.
- Qais, M.H., Hasanien, H.M., Alghuwainem, S., 2020, Whale optimization algorithm-based Sugeno fuzzy logic controller for fault ride-through improvement of grid-connected variable speed wind generators, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 87, <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2019.103328>.
- Rajbongshi, R., Borgohain, D., Mahapatra, S., 2017, Optimization of PV-biomass-diesel and grid base hybrid energy systems for rural electrification by using HOMER, *Energy*, 126, 461-474.
- Sanajaoba, S., 2019, Optimal sizing of off-grid hybrid energy system based on minimum cost of energy and reliability criteria using firefly algorithm, *Solar Energy*, 188, 655-666.
- Satapathy, P., Dhar, S., Dash, P.K., 2016, A mutated hybrid firefly approach to mitigate dynamic oscillations of second order PLL based PV-battery system for microgrid applications, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 16, 69-83.

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Saxena, A., Kumar, R., Mirjalili, S., 2020, A harmonic estimator design with evolutionary operators equipped grey wolf, *Expert Systems with Applications*, 145, <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2019.113125>.
- Shahzad, M.K., Zahid, A., Rashid, T.U., Rehan, M.A., Ali, M., Ahmad, M., 2017, Techno-economic feasibility analysis of a solar-biomass off grid system for the electrification of remote rural areas in Pakistan using HOMER software, *Renewable Energy*, 106, 264-273.
- Shi, N., 2019, *Architectures and Frameworks for Developing and Applying Blockchain Technology*, IGI Global.
- Sigarchian, S.G., Orosz, M.S., Hemond, H.F., Malmquist, A., 2016, Optimum design of a hybrid PV–CSP–LPG microgrid with particle swarm optimization technique, *Applied Thermal Engineering*, 109, 1031-1036, 2016.
- Tubishat, M., Idris, N., Shuib, L., Abushariah, M.A.M, 2020, Improved Salp Swarm Algorithm based on opposition based learning and novel local search algorithm for feature selection, *Expert Systems with Applications*, 145, <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2019.113122>.
- Twaha, S., Ramli, M.A.M., 2018, A review of optimization approaches for hybrid distributed energy generation systems: Off-grid and grid-connected systems, *Sustainable Cities and Society*, 41, 320-331.
- Vasant, P.M., 2013, *Handbook of research on novel soft computing intelligent algorithms: theory and practical applications*, IGI Global.
- Wong, L.A., Ramachandaramurthy, V. K., Walker, S.L., Taylor, P., Sanjari, M.J., 2019, Optimal placement and sizing of battery energy storage system for losses reduction using whale optimization algorithm, *Journal of Energy Storage*, 26, 100892.
- Yahiaoui, A., Fodhil, F., Benmansour, K., Tadjine, M., Cheggaga, N., 2017, Grey wolf optimizer for optimal design of hybrid renewable energy system PV-diesel generator-battery: application to the case of Djanet city of Algeria, *Solar Energy*, 158, 941-951.
- Zahboune, H., Zouggar, S., Yong, J.Y., Varbanov, P.S., Elhafyani, M., Ziani, E., Zarhloule, Y., 2016, Modified electric system cascade analysis for optimal sizing of an autonomous hybrid energy system, *Energy*, 116, 1374-1384.
- Zolfaghari, M., Ghaffarzadeh, N., Ardakani, A.J., 2019, Optimal sizing of battery energy storage systems in off-grid micro grids using convex optimization, *Journal of Energy Storage*, 23, 44-56.

## ÖZGEÇMİŞ

İpek Çetinbaş 1989 yılında Eskişehir’de dünyaya geldi. İlkokul, ortaokul ve lise öğreniminin ardından Gazi Üniversitesi Elektrik Öğretmenliğini kazandı ve 2011 yılında mezun oldu. 2014 yılında Karabük Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği bölümünde yüksek lisans eğitimini tamamladı. 2014 yılından beri Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği bölümünde doktora eğitimini sürdürmekte ve araştırma görevlisi olarak görev yapmaktadır.