



**T.C.**  
**KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ**  
**AKILLI ŞEBEKELERE ENTEGRASYONU**  
**İÇİN YENİ BİR OPTİMİZASYON**  
**METODUNUN GELİŞTİRİLMESİ**

**Hamza YAPICI**

**DOKTORA TEZİ**

**Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Nisan-2019**  
**KONYA**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Hamza YAPICI tarafından hazırlanan “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Akıllı Şebekelere Entegrasyonu için Yeni Bir Optimizasyon Metodunun Geliştirilmesi” adlı tez çalışması 17/04/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

#### Başkan

Doç. Dr. Ahmet Afşin KULAKSIZ

#### Danışman

Doç. Dr. Nurettin ÇETİNKAYA

#### Üye

Doç. Dr. Hayri ARABACI

#### Üye


Dr. Öğr. Üyesi Remzi İNAN

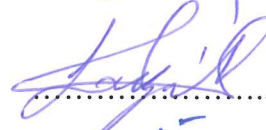
#### Üye


Dr. Öğr. Üyesi Mümtaz MUTLUER

### İmza











Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Yakup KARA  
Enstitü Müdürü

## TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Hamza YAPICI

Tarih: 17/04/2019



## ÖZET

### DOKTORA TEZİ

# YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ AKILLI ŞEBEKELERE ENTEGRASYONU İÇİN YENİ BİR OPTİMİZASYON METODUNUN GELİŞTİRİLMESİ

Hamza YAPICI

Konya Teknik Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Nurettin ÇETİNKAYA

2019, 84 Sayfa

Jüri

Doç. Dr. Nurettin ÇETİNKAYA  
Doç. Dr. Ahmet Afşin KULAKSIZ  
Doç. Dr. Hayri ARABACI  
Dr. Öğr. Üyesi Remzi İNAN  
Dr. Öğr. Üyesi Mümtaz MUTLUER

Günümüzde, yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi, fosil yakıtların sonlu olması ve küresel ısınma gibi nedenlerle giderek artmaktadır. Ancak bunların şebekelere yerleştirilmesi bazı problemlerin ve zorlukların analizi ile gerçekleşmektedir. Bu bağlamda, yenilenebilir tabanlı kaynakların şebekeye optimal yerleştirilmesi ve boyutlandırılması problemi ele alınmaktadır. Üstelik, bu problem sezgisel yöntemlerle çözülebilmektedir.

Bu çalışmada kartal stratejisi ile geliştirilmiş parçacık sürü optimizasyonu (KSPSO) algoritması adıyla yeni bir sezgisel algoritma önerilmiştir. Bu yöntem, bazı klasik test fonksiyonları üzerinde test edilmiştir. Sonraki adımda ise çoklu-amaç problemleri için modifiye edilmiş ve bazı test fonksiyonlarına uygulanmıştır. Önerilen yöntemin elde ettiği sonuçlar başka algoritmalar ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma için parçacık sürü optimizasyonu (PSO), salp sürüsü algoritması (SSA) ve ateş böceği (AB) ve kaotik ateş böceği (KAB) algoritmaları kullanılmıştır. En nihayetinde bir çoklu-amaç gerçek dünya problemi olan en iyi yerleştirme ve boyutlandırma problemine uygulanmışlardır. Bu problemde, güç kaybı, kurulum maliyeti, gerilim dalgalanması ve gaz salınımı azaltma amaçları birlikte ele alınmıştır. Böylece problem çoklu-amaç problemi haline gelmiştir.

Test alanlarındaki rekabetçi sonuçlara ulaşmak, önerilen yöntemin daha iyi bir performans gösterdiğinin kanıtıdır. Dahası güçlü bir yöntem olduğunu da göstermiştir. Çoklu-amaç test problemlerinde gerçek bir Pareto ön-yüzey bulunmaktadır. Bu çalışmada, önerilen yöntem rekabetçi bir şekilde bu ön-yüzeylere yakınsamıştır. Gerçek dünya probleminde, önerilen yöntem farklı baralara yüksek kapasiteli yenilenebilir enerji kaynaklarının yerleştirilmesinde başarılı olmuştur. Bu durum da yeteneklerinin bir kanıtı olabilir.

Önerilen yöntem ile çözülen gerçek dünya problemi için akıllı şebeke uygulamalarında analiz amaçlı büyük ölçekli modifiye test sistemleri kullanılmıştır. Bu çalışmada modifiye edilmiş IEEE 30-baralı sistem, modifiye edilmiş IEEE 57-baralı sistem ve modifiye edilmiş IEEE 118-baralı sistem ele alınmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Akıllı Elektrik Güç Sistemleri, Kaotik Ateş Böceği Algoritması, Kartal Stratejisi, Parçacık Sürü Optimizasyonu, Yenilenebilir Enerji Kaynakları.

## **ABSTRACT**

### **PhD THESIS**

# **THE IMPROVEMENT OF A NEW OPTIMIZATION METHOD FOR INTEGRATION OF RENEWABLE ENERGY SOURCES TO SMART GRIDS**

**Hamza YAPICI**

**Konya Technical University  
Institute of Graduate Studies  
Department of Electrical and Electronics Engineering**

**Advisor: Assoc. Prof. Dr. Nurettin ÇETİNKAYA**

**2019, 84 Pages**

#### **Jury**

**Assoc. Prof. Dr. Nurettin ÇETİNKAYA  
Assoc. Prof. Dr. Ahmet Afşin KULAKSIZ  
Assoc. Prof. Dr. Hayri ARABACI  
Assist. Prof. Dr. Remzi İNAN  
Assist. Prof. Dr. Mümtaz MUTLUER**

Today, the interest in renewable energy sources is increasing due to the finite fossil fuels and global warming. However, the placement of these energy sources in the networks is done with the analysis of some problems. In this context, the problem of optimal placement and sizing of renewable-based resources into the network is addressed. Moreover, this problem can be solved by heuristic methods.

In this study, a new heuristic algorithm has been proposed, named an improved particle swarm optimization with eagle strategy algorithm (ESPSO). This method has been tested on some classical benchmark functions. In the next step, it has been modified for multi-objective problems and applied to some test functions. The results of proposed method have been compared with other algorithms. For comparison, particle swarm optimization (PSO), salp swarm algorithm (SSA) and firefly (FA) and chaotic firefly (CFA) algorithms have been used. Finally, they have been implemented to the optimal placement and sizing problem based on a multi-objective real world problem. In this problem, the minimizations of power loss, installation cost, the voltage deviation and gas emission are handled simultaneously. So the problem has become multi-objective problem.

The achieving competitive results in test beds is evidence of the outperforming ability of the proposed method. It can be also shown that it is a superior method. Multi-objective test problems have a true Pareto front. In this study, both methods converged to this anterior surface. In the real world problem, the proposed method has success the placement of renewable energy sources with high capacity in different buses. This can also be a proof of its ability.

Large-scale modified test systems have been used in the analysis of smart grid applications for the real world problem solved by the proposed method. In this study, the modified IEEE 30-bus system, the modified IEEE 57-bus system and the modified IEEE 118-bus system have been used.

**Keywords:** Smart Electric Power Systems, Chaotic Firefly Algorithm, Eagle Strategy, Particle Swarm Optimization, Renewable Energy Sources.

## ÖNSÖZ

Bu gün küresel ısınmanın oluşturduğu tehdit ve fosil kaynakların bitecek olması nedeniyle yenilenebilir enerji kaynakları ile elektrik üretimi artmaktadır. Böylece daha çevreci ve kısa sürede kurulum maliyetlerini karşılayarak daha az maliyetli enerji üretilmekte ve müşteri hizmetine sunulabilmektedir. Bu çalışmanın amacı yenilenebilir enerji kaynaklarının en iyi yerleştirileceği konumu belirleyecek en kullanışlı kapasitesini bulacak bir yöntem geliştirmek ve bu sayede güç kaybını, kurulum maliyetini, zararlı gaz salınımını ve gerilim dalgalanmasını azaltmaktır.

Tez sürecinde değerli katkılarını ve desteklerini benden esirgemeyen danışmanım Doç. Dr. Nurettin ÇETİNKAYA'ya ve bugüne kadar bıkmadan usanmadan her daim yanımda olan aileme sonsuz teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunarım.

Hamza YAPICI  
KONYA-2019

# İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>v</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>vi</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>vii</b>
<b>KISALTMALAR VE SİMGELER</b> .....	<b>ix</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1. Tezin Amacı .....	2
1.2. Tezin Önemi ve Bilime Katkısı.....	3
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI</b> .....	<b>5</b>
2.1. En İyi Yerleştirme ve Boyutlandırma Problemi .....	5
<b>3. AKILLI ELEKTRİK GÜÇ SİSTEMLERİ (AEGS), ÖZELLİKLERİ VE STANDARTLARI</b> .....	<b>15</b>
3.1. Akıllı Şebekeler .....	15
3.1.1. AEGS'lerin özellikleri .....	17
3.1.2. AEGS'ler için standartlar .....	17
<b>4. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI VE ENTEGRASYONU</b> .....	<b>19</b>
4.1. Rüzgar Enerjisi Sistemleri .....	19
4.1.1. Çift beslemeli indüksiyon jeneratörü kullanan değişken hızlı rüzgar türbinleri.....	20
4.1.2. Tam güç dönüştürücü kullanan değişken hızlı teknolojiler .....	21
4.1.3. Diğer yarıiletken teknoloji rüzgar türbinleri .....	21
4.2. PV Sistemler .....	22
4.2.1. PV-dönüştürücü tasarımları .....	22
4.2.2. PV topolojileri.....	24
4.3. YEK Birimlerinin Şebeke Entegrasyonu ve Zorlukları .....	26
<b>5. YEK'LERİN ŞEBEKEYE ENTEGRASYONU</b> .....	<b>28</b>
5.1. Problemin Tanıtılması.....	30
5.1.1. Çoklu-amaç problemi.....	31
5.1.2. Matematiksel model .....	32
5.2. Kullanılan Yöntemler .....	35
5.2.1. Parçacık sürü optimizasyonu (PSO) algoritması .....	36
5.2.2. Salp sürüsü algoritması (SSA) .....	37
5.2.3. Ateş böceği algoritması (AB) .....	37
5.2.4. Koatik ateş böceği (KAB).....	38

5.2.5. Genetik algoritma (GA) .....	39
5.2.6. Kartal stratejili PSO (KSPSO) .....	39
5.2.7. Yöntemlerin çoklu-amaç problemlerine uyarlanması.....	40
<b>6. SAYISAL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....</b>	<b>42</b>
6.1. Önerilen Yeni Yöntemlerin Testleri .....	42
6.1.1. Kıyaslama fonksiyon testleri.....	43
6.1.2. Ölçeklenebilirlik testleri.....	45
6.1.3. Çoklu-amaç kıyaslama fonksiyonları üzerindeki testleri.....	46
6.2. Modifiye Edilmiş IEEE 30-Baralı Test Sistemi için Sonuçlar .....	51
6.3. Modifiye Edilmiş IEEE 57-Baralı Test Sistemi için Sonuçlar .....	57
6.4. Modifiye Edilmiş IEEE 118-Baralı Test Sistemi için Sonuçlar .....	63
<b>7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>	<b>70</b>
7.1. Sonuçlar .....	70
7.2. Öneriler .....	71
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>73</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>80</b>
Ek 1. Modifiye Edilmiş IEEE 30-Baralı Sistemin Parametreleri .....	80
Ek 2. Modifiye Edilmiş IEEE 57-Baralı Sistemin Parametreleri .....	81
Ek 3. Modifiye Edilmiş IEEE 118-Baralı Sistemin Parametreleri .....	83
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>85</b>



## KISALTMALAR VE SİMGELER

### Kısaltmalar

AA	: Alternatif akım
AEGS	: Akıllı elektrik güç sistemleri
DA	: Doğru akım
DÜ	: Dağıtık üretim
EGS	: Elektrik güç sistemleri
IGBT	: Gate yalıtımlı bipolar transistör
MOSFET	: Metal oksit yarıiletkenli alan etkili transistör
MW	: Megawatt
MKE	: Merkezi kontrollü evirici
PV	: Fotovoltaik
PWM	: Darbe genişlik modülasyonu
SCADA	: Uzaktan Kontrol ve Gözleme Sistemi
THD	: Toplam harmonik bozulma
YEK	: Yenilenebilir enerji kaynakları
ZDT	: Zitzler–Deb–Thiele

### Simgeler

$F(\vec{x})$	: Çoklu-amaç fonksiyonların uygunluk kümesi
$f(\vec{x})$	: Fonksiyonların uygunluğu
$g(\vec{x})$	: Eşitsizlik kısıtı
$h(\vec{x})$	: Eşitlik kısıtı
$\vec{x}$	: Çoklu-amaç fonksiyonların değişken vektörü
$k$	: Fonksiyon indeksi
$n$	: Eşitsizlik kısıtı indeksi
$m$	: Eşitlik kısıtı indeksi
$\vec{u}, \vec{v}$	: Baskın olmayan değişkenlerin vektörleri
$S$	: Arama uzayında bir çözüm
$P^*$	: Pareto optimal çözüm kümesi
$P\mathcal{F}^*$	: $F(\vec{x})$ için, Pareto ön-yüzey
$L$	: Bara numarası değişkeni
$P$	: Yenilenebilir enerji kaynağı gücü
$NB$	: Bara sayısı
$Nk$	: Yenilenebilir enerji kaynağı sayısı
$i$	: Bara indeksi
$I$	: Hat akımı
$R$	: Hat direnci
$V_n$	: Nominal gerilim
$V_i$	: $i$ . bara efektif gerilimi
$E$	: Toplam emisyon
$j$	: Termal birimlerin indeksi
$\alpha$	: Emisyon sabiti (ton/MWh <sup>2</sup> )
$\beta$	: Emisyon sabiti (ton/MWh)
$\gamma$	: Emisyon sabiti (ton/h)
$\xi$	: Emisyon sabiti (ton/h)

$\lambda$	: Emisyon sabiti ( $MW^{-1}$ )
$C(P)$	: Kurulum maliyeti
$C_s$	: Santral güçleri için toplam maliyet
$a$	: Kullanım sonu geri dönüşüm bedeli
$b$	: İşletme maliyeti
$OM$	: Bakım onarım maliyeti
$R_i$	: Yıllık faiz oranı
$L_y$	: Yük faktörü
$nYEK$	: Yenilenebilir enerji kaynağı sayısı
$kW_k$	: k. santral kapasitesi
$\mu$	: Müsade edilen yenilenebilir üretim miktarı yüzdesi
$s$	: Enerji hatlarındaki güç akışı
$x_i$	: i. değişken vektörü
$v_i$	: i. parçacık hızı
$w_i$	: i. parçacık için ağırlık değeri
$r_1, r_2$	: Rastgele vektörler
$c_1, c_2$	: Hızlanma katsayılar
$C_1$	: Kontrol parametresi
$C_2$	: Rastgele üretilen bir vektör
$C_3$	: Rastgele kontrol katsayısı
$I(r)$	: Işık şiddeti
$\beta_0$	: Çekicilik sabiti
$\alpha^k$	: Rastgelelik parametresi
$L(s)$	: L'evy uçuşu fonksiyonu
$\Gamma(s)$	: Standart gama fonksiyonu
$s_0$	: Adım değişkeni
$\vec{d}$	: Arşivdeki bireylerin maksimum değeri ile minimum değeri arası mesafe
$f^*$	: Dominant olmayan çözümler
$p^*$	: Dominant olmayan çözümler kümesi
$q^*$	: Olası çözümler kümesi
$r^*$	: Ebeveyn ve çocuk bireylerin beraber bulunduğu küme

## 1. GİRİŞ

Elektrik Güç Sistemlerinde (EGS) artan enerji ihtiyacı ve buna bağlı olarak çevresel etkiler yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji kaynaklarına yönelimi arttırmaktadır. Günümüzde gelişen teknoloji ile beraber kendini kontrol edebilen yönetebilen ve hatalara müdahale edebilen akıllı şebeke uygulamaları artmakta ve bununla beraber yenilenebilir enerji kaynaklarının normal şebekeler ile bu akıllı şebekelere entegrasyonu alanındaki çalışmalar popüler hale gelmektedir. Bu bağlamda, EGS'lerde güç kalitesi problemleri ele alınarak sistem iyileştirme çalışmaları yapılmaktadır. Bu çalışmalardan biri de yenilenebilir enerji kaynakları birimlerinin EGS'lerde veya akıllı şebekelere diğer bir deyişle akıllı elektrik güç sistemleri (AEGS) entegrasyonudur.

Günümüzde enerji ihtiyacı büyük oranda kömür, doğalgaz, petrol gibi fosil kaynaklar ve nükleer kaynaklardan elde edilmektedir (Goedecke ve ark., 2007; Straatman ve Van Sark, 2008). Fosil kaynaklar ve nükleer tabanlı enerji üretimi, kaynakların hızla tüketilmesi ve çevreye olan etkileri nedeniyle farklı, daha çevreci ve verimli enerji üretim yöntemlerine yönelime neden olmaktadır. Bununla beraber, EGS'lerin akıllı planlanması ve yönetilmesi güç kalitesi problemlerinin çözümüne yardımcı olmakta, enerji verimini arttırmakta ve sürdürülebilirliği sağlamaktadır. Diğer taraftan yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik şebekelerine entegrasyonu oldukça zordur. Doğaları gereği kesintili ve doğrusal olmayan rasgele üretim gerçekleştirmeleri nedeniyle yenilenebilir enerji kaynakları genellikle depolama üniteleri ile beraber sunulmaktadır (Kallel ve ark., 2014). AEGS'ler bu alanda dağıtık üretim (DÜ) birimlerinin ve yenilenebilir enerji kaynaklarının (YEK) verimli bir şekilde entegrasyonuna olanak sağlamaktadırlar (Reddy ve ark., 2014).

Rüzgar, güneş, dalga enerjisi ve gel-git enerjisi gibi kararsız ve kesintili YEK'lar entegrasyonunun zorluğu büyük ölçüde enerji kaynağının girdilerine bağlıdır (Lund ve ark., 2012). YEK'lerin uygulanması üç aşamada sağlanabilir (Lund, 2010):

- **Başlangıç aşaması:** Bu aşama, mevcut enerji sisteminde küçük bir miktarda yenilenebilir enerjinin olduğu veya hiç olmadığı durumu temsil eder. Burada, yenilenebilir enerji girişi belirli öneriler ile karakterize edilmektedir. Örnek olarak rüzgar türbinleri kısıtlı bir enerji ile sisteme dahil edilmiştir. Sistem

yılın her saatinde aynı şekilde cevap verir ve teknik olarak yıllık bazda kaydedilen yakıt açısından tanımlanması kolaydır. Dahası, giriş gücü şebekenin işletilmesi için sorun teşkil etmez.

- **Büyük ölçekli entegrasyon aşaması:** Bu aşama, sistemde halihazırda önemli bir büyüklükte yenilenebilir enerjinin bulunduğu durumdur. Bu aşamada yenilenebilir enerji nüfuzundaki fazla artış sistem üzerine bir etkiye sahip olacak ve bu etki her saat değişebilecektir. Rüzgar ve güneş enerjisi kaynaklarının sisteme ilave edilmesi karmaşıklaşır ve şebeke stabilizasyonu dikkate alınmalıdır. Ayrıca talep arz dengesi içerisinde sisteme enerji girdisi sağlanmalıdır.
- **Yüzde yüz yenilenebilir enerji aşaması:** Yenilenebilir enerjinin tamamının enerji sistemine dahil edildiği veya dönüştürüldüğü aşamadır. Bu sistemde yenilenebilir enerji sistemleri benzer sistemler ile karşılaştırılarak karakterize edilir. Depolama, dönüştürme, verimlilik iyileştirmeleri ve koruma teknolojileri bu aşamada tanımlanır. Bu aşamada, sadece saatlik değişimler değil aynı zamanda dönüştürme ve depolama teknolojileri ile değişik kombinasyonların tanımlanması da sağlanır. Ayrıca, şebeke işletilmesindeki zorluk, frekans ve gerilim kararlılığının sağlanması açısından da önemlidir.

YEK birimleri düşük kalite ve daha yüksek güç tüketimini sağlarken, aynı zamanda güç kalitesini ve güvenilirliğini arttırmaktadır. Ayrıca tüketicileri elektrik sisteminde aktif bir üye yapmakta, sera gazı emisyonlarını azaltmakta, talep anındaki pikleri azaltmakta ve enerji verimliliğini arttırarak tasarruf sağlamaktadır. Dahası, voltaj regülasyonu ve yük takibi marjinal üretim maliyetlerine dayanan operasyonların maliyetini düşürmeyi mümkün kılmaktadır (Clastres, 2011; Phuangpornpitak ve Tia, 2013).

### 1.1. Tezin Amacı

Günümüzde, EGS'ler azalan fosil yakıtlar ve çevresel etkenler nedeniyle daha sürdürülebilir ve yenilenebilir üretim kaynaklarının ihtiva edildiği yapılar haline gelmektedirler. Aynı zamanda, elektrik enerjisi talebindeki artış ile beraber gelen genişleme, kesintilerin en aza indirgenmesi, tek merkezden yönetilebilme hatta kendi

başına karar verebilme, talep enerji için anlık cevap verebilme ve şebeke arızalarına kısa sürede müdahale edebilme gibi etmenler EGS'lerin daha akıllı hale gelmesine olan ihtiyacı arttırmaktadır. SCADA sistemleri ile AEGS uygulamalarına geçilebilmekle beraber YEK birimi entegrasyonu ile elektrik enerjisinin sürdürülebilir olmasının ve daha çevreci olmasının aksine bazı zorlukları da beraberinde getirmektedir. Rüzgar ve güneş enerjisindeki belirsizlikler, harmonik etkileri, tek yönlü güç akışının enerji talebine etkisi, üretimin DA'da gerçekleştirilmesi gibi etkenler birçok şebekede YEK birimlerinin entegrasyonunu zorlaştırmaktadır. Bu bağlamda, literatürde birçok algoritma geliştirilmiş ve YEK birimlerinin şebekelere entegre edilebilmesi sağlanmıştır. Ayrıca EGS'ler ve AEGS'ler için bu birimlerin iyileştirme yapabildiği gösterilmiştir. Bu tez çalışmasında, YEK santrallerinin mevcut AEGS'lere entegrasyonu için yeni bir algoritmanın geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Diğer taraftan, geliştirilen algoritmanın için klasik optimizasyon fonksiyon testleri, ölçeklenebilirlik testleri ve çoklu-amaç fonksiyon testleri gerçekleştirilmiştir. Böylece, geliştirilmiş olan bu yöntemin performansı ve üstünlüğü test edilmiştir. Literatürde çoğunlukla kullanılan diğer bazı yöntemler ile karşılaştırma da yapılmıştır.

Algoritmik yöntemler, YEK ünitelerinin şebekeye entegrasyonunu kolaylaştırmakta ve bu birimlerin en ideal baraya talep edilen kapasitede yerleştirilmesine olanak sağlamaktadırlar. Böylelikle, güç akış analizleri sonucunda mevcut santrallerin yükleri azaltılabilmekte ve talep edilen elektrik enerjisi talebin olduğu baralardan sağlanabilmektedir. Dahası, YEK birimlerinin entegrasyonu ile karbon salınımı da azalmaktadır. Burada, geliştirilmiş yeni bir algoritma ile daha etkili çözümler üretilerek AEGS'lerde güç kayıpları, gaz emisyonu, gerilim dalgalanması ve AEGS'lere yerleştirilecek YEK birimlerinin kurulum maliyetleri minimize edilecektir. Bu kapsamda çözümlenen problem çoklu-amaç problemi olarak ele alınacaktır. Dahası, literatürde yer alan bazı yöntemler de kullanılacaktır. Böylece, yöntemlerin tutarlılığı ve yetenekleri gösterilebilecektir.

## 1.2. Tezin Önemi ve Bilime Katkısı

Mevcut şebeke yapıları, genişleme ve tüketim profilindeki değişimler nedeniyle yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle akıllı şebekelere olan ihtiyaç artmaktadır. Ancak,

AEGS'lerin YEK birimleri ile genişletilmesi veya yeniden yapılandırılması bazı sorunları beraberinde getirir. YEK tabanlı elektrik enerjisi üretim birimleri entegrasyon aşamasında maliyet, güvenilirlik, verimlilik, ve gerilim kararlılığı problemi sorunlarına neden olabilmektedir. Bu çalışmada önerilen yöntem AEGS'lerde entegrasyon sorunlarına çözüm oluşturabilir.

Literatürde var olan çalışmalar, dağıtım şebekelerinde ve kısmen büyük ölçekli şebekelerde ele alınmıştır. Entegrasyon sorunları ayrı olarak ele alınmış ve modeller oluşturulmuştur. Farklı yük profilleri ele alınmadan, güç kaybının azaltılması, gerilim profili iyileştirilmesi, maliyetin indirgenmesi ve gaz emisyonunun azaltılması problemleri AEGS'lerde birlikte göz önüne alınmamıştır. Dahası, elektrik enerjisi talebi zaman içerisinde değişmektedir. Tez çalışmasında, diğer yöntemlerden farklı olarak şebeke güç problemleri çoklu-amaç bir problem olarak birlikte ele alınmıştır.

Diğer taraftan, AEGS'lerde sistem performansının ve güvenilirliğinin yüksek olması önemlidir. Ancak YEK'lerin konumları, bu konumların talebi karşılama açısından uygunluğu ve kapasiteleri sistem performansına katkı sağlayabilir. Bu çalışmada, yeni bir sezgisel yöntem geliştirilerek bu konumları ve kapasiteleri daha etkin bir şekilde bulma sağlanacaktır. Böylece, sistem performansının ve güvenilirliğinin artması hedeflenmektedir. Literatürde var olan yöntemlerden farklı olarak bu çalışmadaki yaklaşım kurulum, işletme ve enerji satış maliyetlerini oldukça azaltmakla beraber güç akışı ile hesaplanan sistem kayıplarını da oldukça minimize etmektedir. Dahası çevreye zarar veren gaz salınımlarını ve şebeke hatlarında meydana gelen gerilim salınımlarında kayda değer oranda azaltmaktadır. Bu çalışmadaki yöntem literatürde, bu alanda büyük ölçekli sistemlerde kullanılmış model ile beraber, ele alınan ilk yaklaşımdır.

Son olarak, YEK tabanlı üretim birimlerinin şebeke içerisine optimal yerleştirilmesi ve boyutlandırılması problemi etkili biçimde çözülmüştür. Burada, YEK biriminin maksimum elektrik enerjisi üretebileceği kapasite hesaplanarak yerleştirileceği bara önerilen yöntem ile belirlenmiştir. Bu durumda, güç akışı analizi ile enerji ihtiyacının fazla olduğu yerler belirlenerek sistem performansı iyileştirilecek ve mevcut geleneksel fosil yakıt tabanlı üretim birimlerinin elektrik üretim kapasiteleri azaltılarak daha az fosil yakıt kullanılması sağlanmıştır. Ayrıca, YEK birimlerinin kurulum maliyeti ve neden olduğu gerilim dalgalanması da azaltılmıştır.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu bölümde, YEK tabanlı elektrik üretim birimlerinin EGS'lere ve AEGS'lere en iyi yerleştirme ve boyutlandırma problemine ilişkin literatür taramaları sunulmuştur.

### 2.1. En İyi Yerleştirme ve Boyutlandırma Problemi

Amirkhanloo ve Ghafouri (2014) güneş ve rüzgar enerjisi tabanlı yenilenebilir dağıtık üretim birimleri kullanarak akıllı mikro-şebekelerde optimal yönetim gerçekleştirmişlerdir. Bu bağlamda, işletme maliyeti, ana maliyet ve net ücretlendirme maliyetini ele alınmıştır. Çalışmalarında optimal maliyet fonksiyonu, uygun bir duyarlı analiz ile uygulanmıştır (Amirkhanloo ve Ghafouri, 2014).

Keleş ve ark., 2015 yılında, akıllı şebekelerde, güç sınırlı yük atma algoritması kullanarak şebeke-yenilenebilir enerji modu, şebeke modu ve parçalı mode olan işletim modlarını ele almışlardır. Çalışmada, algoritmanın akıllı sayaçlara gömülü olduğu ve anahtarları açma kapama işlemini gerçekleştirebildiği varsayılmıştır. Ayrıca çalışmada, dinamik güç tüketim limiti yerel yenilenebilir enerji üretimine ve anlık enerji fiyatlarına göre güncellenmiştir (Keleş ve ark., 2015).

Salinas ve ark. (2013), müşterilerin belirsiz yük taleplerini dikkate alarak YEK'leri ile enerji depolama birimleri dağıtılarak akıllı şebekedeki optimal enerji yönetimi problemini araştırmışlardır. Salinas ve ark, bir elektrik şirketi ile iki yönlü gerçek zamanlı haberleşmeye sahip bir dizi enerji kullanıcısı olan bir elektrik dağıtım şebekesini ele almışlardır (Salinas ve ark., 2013).

Mery ve Rajarajeswari (2014) yaptıkları çalışmada, bir akıllı şebekede, Genetik Algoritma (GA) kullanarak toplam elektrik maliyetini azaltmışlardır. Ele aldıkları bu akıllı şebekede YEK ve enerji dopalama birimlerinin olduğu kabul edilmiş ve talebi karşıladığı göz önünde bulundurulmuştur. Dahası, optimizasyon için kısa dönem ortalama elektrik maliyeti formüle edilerek ele alınmıştır (Mary ve Rajarajeswari, 2014).

Vincent ve Yusuf (2014), Nijerya elektrik şebekesi için AEGS modeli önermişlerdir. Bu şebekede YEK birimlerinin potansiyelini analiz etmişlerdir. Ulusal elektrik şebeke sistemine hidroelektrik, güneş, rüzgar ve biyo kütle enerjisi ile enerji depolama birimleri içeren AEGS modelinin entegrasyonu hakkında görüş sunmuşlardır (Vincent ve Yusuf, 2014).

Alonso ve ark. (2012), GA kullanarak AEGS'lere YEK birimlerinin entegrasyonunu, Reaktif Güç Yönetimi (RGY) problemi bağlamında gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada, reaktif güç kapasitesini sağlamak amacıyla dağıtılmış jeneratörlerin en uygun yerini belirlemek için bir genel optimizasyon formüle edilmiştir. Farklı multi-objektif fonkiyonların ele alınması durumunda, RGY problemine en uygun çözümü bulmak için GA kullanmışlardır (Alonso ve ark., 2012).

Niknam ve ark. (2011), modifiye edilmiş bal arısı optimizasyonu algoritması (MBAO) ile YEK jeneratörlerinin optimal boyutlandırılması ve yerleştirilmesi problemine uygulamışlardır. Yazarlar 70 baralı test sistemini ele alarak maliyet, emisyon ve güç kaybı azaltma ve gerilim profili en-iyileme amaçlarının yer aldığı çoklu-amaç (MO) problemini çözmüşlerdir. Ayrıca YEK birimleri olarak fotovoltaik (PV) ve rüzgar türbinleri ele alınmıştır (Niknam ve ark., 2011).

Zakariazadeh ve ark. (2014), AEGS'lerin çoklu-amaç planlaması için geleneksel yöntem kullanmışlardır. Bu matematiksel yaklaşım ile çoklu-amaç probleminde maliyet ve emisyon azaltılması sağlanmıştır. Çalışmalarında, YEK birimlerini içeren DEK'lerin (dağıtık enerji kaynağı) gelecekteki dağıtım şebekelerinde desteklenmesi için GÖA (Gelişmiş Ölçüm Altyapısı) ile entegre akıllı TYYS'nin (Talep Yanıt Yönetimi Sistemi) yeni bir kavramsal tasarımı dizayn edilmiştir. DEK'ler için önerilen programlama yaklaşımı, 24 saatlik bir süre boyunca 69 baralı dağıtım sisteminde test edilmiştir (Zakariazadeh ve ark., 2014).

Homaee ve ark. (2014), yeni bir matematiksel modelleme yöntemi ile akıllı dağıtım şebekelerinde gerçek zamanlı gerilim kontrolü sağlamışlardır. Ayrıca YEK birimlerinin şebekeye entegre edildiği ve akıllı iletişim altyapısının uygulandığı varsayılmıştır (Homaee ve ark., 2014).

Bakos (2002), hibrit rüzgar/hidro-elektrik sistem ile düşük maliyetli elektrik üretiminin gerçekleştirilmesini sağlamıştır. Uygulama için Yunanistan'ın İkaria adasında yer alan elektrik şebekesini ele almıştır (Bakos, 2002).

Bilal ve ark. (2010), Senegal'in Potou bölgesinde hibrit PV/Rüzgar sisteminin optimal tasarımını ele alarak yıllık maliyetleri ve güç kayıplarını azalmışlardır. Yöntem olarak çoklu-amaç GA kullanmışlardır (Bilal ve ark., 2010).

Ghosh ve ark. (2010), Newton-Raphson güç akışı yöntemi ile DÜ birimlerinin optimal boyutlandırılması ve yerleştirilmesi problemini çözmüşlerdir. Yazarlar, IEEE 6 baralı sistemi, IEEE 14 baralı sistemi ve IEEE 30 baralı sistemi kullanmışlardır. Dahası,



çalışmalarında maliyet ve güç kaybı arasındaki dengeyi incelemişlerdir (Ghosh ve ark., 2010).

Srisaen ve Sangswang (2006), radyal dağıtım şebekelerinde PV bağlantılarının etkilerini incelemişlerdir. PV dizilerinin bir invertör ile şebekeye bağlantısı MATLAB yazılım ortamında simüle edilmiştir. Sistemin gerilim profili, aktif güç kaybı, toplam kayıp ve güç faktörü iyileştirilmiştir (Srisaen ve Sangswang, 2006).

Urganlı ve Karatepe (2012), Newton-Raphson güç akışı yöntemi ile ağ tipi şebekeler olan IEEE 9 baralı sistemi, IEEE 14 baralı sistemi ve IEEE 30 baralı sistemi kullanarak DÜ birimlerinin optimal boyutlandırılması ve yerleştirilmesi probleminin çözümünü gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında baraların güç kaybını ve gerilim profilini iyileştirmişlerdir (Urganlı ve Karatepe, 2012).

Zonkoly (2011), yaptığı çalışmada, farklı yük modellerine sahip dağıtım sistemlerinde çoklu DÜ birimlerinin boyutunu ve konumunu en uygun şekilde belirlemek için çok amaçlı indeks tabanlı bir yaklaşım önermiştir. Çalışmada PSO tabanlı bir yaklaşım anlatılmıştır. Yazar önerdiği fonksiyonda, aynı zamanda sistemin aktif ve reaktif güç kayıpları, gerilim profili, hat yüklemesi ve şebeke tarafından sağlanan Mega Volt Amper (MVA) alımı gibi geniş bir yelpazede teknik konuları da ele almıştır. Önerilen algoritma, 38-baralı radyal sistemde ve IEEE 30-baralı sistemde test edilmiştir (El-Zonkoly, 2011).

Wang ve Nehrir (2004), analitik bir yöntem ile DÜ birimlerinin radyal bir güç sisteminde, IEEE 6-baralı sistemde ve IEEE 30-baralı sistemde, en iyi boyutlandırılması ve yerleştirilmesi problemini ele almışlardır. Bu yöntemle sistemlerin güç kayıplarını minimize etmişlerdir (Wang ve Nehrir, 2004).

Lee ve Park (2009), Kalman Filtesi (KF) algoritması ile çoklu DÜ birimlerinin EGS'ler için güç kaybının azaltılması amacıyla optimal yerleştirilmesi yöntemini önermiştir. İlave olarak, bu yöntemle DÜ birimlerinin boyutlandırılması da gerçekleştirilmiştir (Lee ve Park, 2009).

Reddy ve Momoh (2016), Kendiliğinen Uyarlamalı Diferansiyel Gelişim (KUDG) algoritması kullanarak rüzgar-güneş-termal sistemi için maliyeti ve emisyonu en aza indirme hedefleri arasındaki ilişkiyi açıklamıştır. Önerilen yöntem IEEE 30-baralı test sistemine uygulanmıştır. Carbon dioksit (CO<sub>2</sub>), nitrojen dioksit (NO<sub>2</sub>) ve sülfür dioksit (SO<sub>2</sub>) gazları minimize edilecek emisyon değerleri olarak seçilmiştir. Ayrıca, Rüzgar Tarlası farklı baralara yerleştirilmiştir (Reddy ve Momoh, 2016).

Porkar ve ark. (2010), yaptıkları çalışmada DÜ birimlerinin optimal boyutlandırılması ve yerleştirilmesi yatırımlarının planlanması için iki güçlü yazılım ve matematiksel model içeren yeni bir arayüz önermişlerdir. Önerilen yöntem ile sistem planlama maliyeti, yatırım maliyeti, işletme ve bakım maliyeti, enerji satın alma maliyeti ve güç kayıpları azaltılmıştır (Porkar ve ark., 2010).

Fossati ve ark. (2015), mikro-şebekelerde enerji depolama sistemlerinin boyutlandırılması için GA tabanlı bir yöntem sunmuşlardır. Yazarlar, çalışmalarında, şebeke işletme maliyetlerini minimize eden depolama birimlerinin enerji ve güç kapasitelerini bulmuşlardır (Fossati ve ark., 2015).

Lund (2006), Danimarka elektrik şebekesinin bir bölümünde, büyük ölçekli rüzgar/PV/dalga enerjisi entegrasyonu için analiz gerçekleştirmiştir. Burada, YEK birimlerinin aşırı üretimi önleme yeteneği açısından elektrik kaynağı olarak entegre edilme olasılığını incelemiştir (Lund, 2006).

Lamardin (2015), yaptığı çalışmada, IEEE 30-baralı sistemde YEK birimlerinin ve doplama ünitelerinin yerleştirilmesi ve kullanımı esnasında teknik ve ekonomik etkilerini incelemiştir. Ayrıca yazar, dinamik güncellemeli bir algoritma da sunmuştur (Lamadrid, 2015).

Firouzi ve Abarghoee (2014), maliyet tabanlı bir formül kullanarak YEK birimleri için gerekli depolama ünitelerinin mikro-şebekelerde optimal yerleşimini belirlemişlerdir. Bu bağlamda, geliştirilmiş Yarasa Algoritması (GYA) kullanmışlardır (Bahmani-Firouzi ve Azizipanah-Abarghoee, 2014).

Kaur ve ark. (2014), önerdikleri yöntemle Karışık Tamsayı Doğrusal Olmayan Programlama (MINLP) kullanarak kayıpları azaltmak için DÜ birimlerinin planlamasını yapmışlardır. DÜ birimlerinin en iyi yerleştirilmesi ve kapasitesinin belirlenmesi işlemi için çalışmalarını iki aşamada gerçekleştirmişlerdir. Birinci aşama, Yerleşim Planlama Modeli (YPM) ve ikincisi ise Kapasite Planlama Modeli (KPM)'dir. Sonuçlar, Sıralı Kuadratik Programlama (SKP) ve Şube ve Sınır (BAB) algoritması ile elde edilmiştir. Ayrıca çalışmalarında, IEEE 33-baralı sistemi ve IEEE 69-baralı sistemi ele almışlardır (Kaur ve ark., 2014).

Mohandas ve ark. (2015), IEEE 38 ve IEEE 69 baralı sistemlerde Kaotik Yapay Arı Kolonisi Algoritması (KYAK) kullanarak DÜ birimlerinin optimal yerleştirilmesini ve boyutlandırılmasını ele almışlardır. Dahası, çalışmalarında, güç kayıplarının azaltılmasını, gerilim profili iyileştirilmesini ve MVA kapasite indeksini çoklu-amaç problemi olarak konu edinmişlerdir (Mohandas ve ark., 2015).

Esmaili ve ark. (2014), Dinamik Programlama kullanarak IEEE 34-baralı sistemde DÜ birimlerinin en iyi yerleşimi ve boyutlandırılması problemini çözmüşlerdir. Yazarlar, sistemin gerilim kararlılığını ve güç kayıplarını iyileştirmişlerdir (Esmaili ve ark., 2014).

Ruiz-Romero ve ark. (2014), İspanyanın Malaga kentinde AEGS uygulaması için YEK tabanlı DÜ birimlerinin dağıtım şebekesine entegrasyonunu incelemiştir. Çalışmalarında yazarlar, PV ve mini-Rüzgar türbini birimlerinin entegrasyonun zorluğunu analiz etmişlerdir. Dahası AEGS konsepti için bağlantı teknolojilerini araştırmışlardır (Ruiz-Romero ve ark., 2014).

Aman ve ark. (2012), yeni bir algoritma geliştirerek, DÜ üretim birimlerinin dağıtım şebekelerinde yerleştirilmesi ve boyutlandırılması problemini çözmüşlerdir. Bu bağlamda, hat kayıplarını azaltmayı ve güç indeksini iyileştirmeyi amaçlamışlardır. Çalışmalarında, 12-baralı, modifiye edilmiş 12-baralı ve 69-baralı sistemleri kullanmışlardır (Aman ve ark., 2012).

Kansal ve ark. (2013), PSO kullanarak, PV üniteleri, yakıt hücreleri ve senkron jeneratörler gibi farklı tip DÜ birimlerinin en iyi yerleştirilmesi problemini çözmüşlerdir. Çalışmalarında 33-baralı ve 69-baralı sistemleri kullanmışlardır. Ayrıca yazarlar bu çalışma ile sistem güç kayıplarını minimize etmişlerdir (Kansal ve ark., 2013).

Hung ve ark. (2014), analitik bir yöntem ile yenilenebilir tabanlı DÜ jeneratörlerinin entegrasyonunu ele almışlardır. Bu bağlamda, yıllık enerji kayıplarını azaltmışlardır. Önerilen yöntem 69-baralı sisteme uygulanmıştır (Hung ve ark., 2014).

Hazem ve ark. (2017), çalışmalarında biyo-kütle, PV, rüzgar ve yakıt hücresi gibi farklı teknolojilere sahip DÜ birimlerinin şebeke entegrasyonunu sunmuşlardır. Dahası çalışmalarında GA, PSO ve Biocoğrafi Tabanlı Optimizasyon (BTO) algoritmalarını kullanmışlardır. Bu yöntemler 69-baralı radyal şebekeye uygulanmıştır (Hazem ve ark., 2017).

Devi ve Geethanjali (2014), PSO algoritması kullanarak DÜ jeneratörlerinin ve Dağıtım Statik Kompansatörlerin (DSTATCOM) en iyi boyutunu ve lokasyonunu bulmuşlardır. Analizler 12, 34 ve 69 baralı sistemlerde gerçekleştirilmiştir. Dahası sistemlerin toplam güç kayıpları azaltılmış ve gerilim profili iyileştirilmiştir (Devi ve Geethanjali, 2014b).

Imran ve ark. (2014), Havai Fişek Algoritması (FWA) kullanarak DÜ birimlerinin radyal dağıtım sistemlerinde en iyi yerleşimini bulmuş ve şebekeleri yeniden yapılandırmışlardır. Yazarlar, güç kayıplarını azaltmış ve gerilim kararlılığını

iyileştirmişlerdir. Simülasyon 33 ve 69 baralı test sistemlerinde gerçekleştirilmiştir (Imran ve ark., 2014).

Zeinalzadeh ve ark. (2015), MOPSO kullanarak 33-baralı test sisteminde ve 94-baralı gerçek bir şebekede, yük belirsizliklerini göz önünde bulundurarak, DÜ jeneratörlerinin ve şönt kapasitör gruplarının en iyi konumunu ve boyutunu bulmuşlardır. Bu bağlamda, güç kayıpları azaltılmış, gerilim kararlılığı ve akım dengesi iyileştirilmiştir (Zeinalzadeh ve ark., 2015).

Kansal ve ark. (2016), hibrit bir yöntem ile DÜ birimlerinin 33 ve 69 baralı test sistemlerine entegrasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Hibrit yöntemde, analitik yöntem kullanarak kapasite hesabı yapmış ve PSO ile yerleştirilecek barayı belirlemişlerdir. Böylece sistem kayıpları azatılmıştır (Kansal ve ark., 2016).

Muthukumar ve Jayalalitha (2016), 33 ve 119 baralı radyal sistemlerde, Harmony Arama Algoritması (HAA) ve parçacık YAK ile oluşturulmuş hibrit yöntem ile DÜ birimlerinin ve şönt kapasitörlerin en iyi konumlandırılmasını ve boyutlandırılmasını sağlamışlardır (Muthukumar ve Jayalalitha, 2016).

Bayat ve ark. (2016), tekdüze gerilim dağılımı tabanlı yapısal yeniden yapılandırma algoritması (UVDA) kullanarak 33, 69 ve 136 baralı test sistemlerinde DÜ jeneratörlerinin optimal konumlandırılması ve boyutlandırılması problemini ele almışlardır. Böylece güç kayıpları azami oranda azalmıştır (Bayat ve ark., 2016).

Gampa ve Das (2017), bulanık temelli GA kullanarak DÜ birimlerinin 60 ve 70 baralı sistemlerde, gerilim kararlılığı iyileştirmek ve güç kayıplarını azaltmak amacıyla, DÜ jeneratörlerini entegre etmiş ve bu sistemlerin yeniden yapılandırılmasını sağlamışlardır (Gampa ve Das, 2017).

Ahanch ve ark. (2017), Çekirge Optimizasyon Algoritması (ÇOA) ile 33 ve 69 baralı sistemlerde yeniden yapılandırma ve optimal DÜ yerleştirme problemini çözmüşlerdir. Böylelikle güç kayıplarını azaltmışlardır (Ahanch ve ark., 2017).

Javidtash ve ark. (2017), mikro-şebekelerde DÜ birimlerinin yerleştirilmesi için yeni bir dominant olmayan sıralama genetik algoritmasının ve bulanık metodun hibrit versiyonunu kullanmışlardır. Çalışmalarında, emisyonu, maliyeti, gerilim dalgalanmasını ve güç kayıplarını optimize etmişlerdir (Javidtash ve ark., 2017).

Nguyen ve ark. (2016), Adaptif Guguk Kuşu Arama Algoritması (AGKA) kullanarak şebeke yapısı optimizasyonu ve DÜ jeneratörlerinin yerleştirilmesi problemini çözmüşlerdir. Yazarlar, şebeke güç kayıplarını minimize etmiş ve gerilim kararlılığını

iyileştirmişlerdir. Simülasyon çalışmalarını 33, 69 ve 119 baralı sistemlerde gerçekleştirmişlerdir (Nguyen ve ark., 2016).

Poornazaryan ve ark. (2016), farklı yüklerde yeni bir indeks sunarak şebekelerde güç kaybının azaltılması ve gerilim kararlılığının artırılması için DÜ birimlerinin optimal boyutlandırılmasını ve yerleştirilmesini sağlamışlardır. Ayrıca, yazarlar Emperyalist Rekabetçi Algoritma (ERA) kullanarak simülasyon çalışmalarını 34 ve 69 baralı sistemlerde gerçekleştirmişlerdir (Poornazaryan ve ark., 2016).

Khodabakhshian ve Andishgar (2016), Kesişen Mutasyonlu Diferansiyel Gelişim Algoritması kullanarak 33-baralı ve 69-baralı sistemlerde DÜ birimlerinin ve kapasitör gruplarının şebekelere en iyi yerleşimini ve boyutlandırılmasını sağlamışlardır (Khodabakhshian ve Andishgar, 2016).

Muthukumar ve Jayalalitha (2017), optimal DÜ birimlerinin şebekelere optimal yerleştirilmesini ve boyutlandırılmasını sağlayarak bu şebekelerin yeniden yapılandırılmasını sağlamışlardır. Yazarlar, 69 ve 118 baralı sistemleri ele almış ve hibrit Harmoni Arama-Parçacık Yapay Arı Kolonisi algoritmasını (HA-PYAK) kullanmışlardır (Muthukumar ve Jayalalitha, 2017).

Kefayat ve ark. (2015), çalışmalarında, hibrit Karınca Kolonisi Yapay Arı Kolonisi algoritmasını (AKO-YAK) önermişlerdir. Çalışmada, yenilenebilir tabanlı DÜ enerji kaynaklarının olasılıklı optimal yerleşimi ve boyutlandırılması sağlanmıştır. Dahası, simülasyon 33 ve 69 baralı sistemlerde test edilmiştir (Kefayat ve ark., 2015).

Niknam (2011), yaptığı çalışmada DÜ birimleri bağlı dağıtım şebekelerinde gerilim ve reaktif güç kontrolü sağlamak için Kaotik Geliştirilmiş Bal Arısı Eşleştirme Optimizasyon algoritmasını (KGBAEO) kullanmıştır. Dağıtım Şebekelerinde, büyük kapasiteli DÜ birimlerinin etkisi bağlamında günlük gerilim ve reaktif güç kontrolü gerektiği vurgulanmıştır. Bu amaçla, yazar KGBAEO kullanmış ve bir sonraki gün için DÜ'lerin aktif güçlerini, kapasitörlerin reaktif güçlerini ve transformatörlerin tap pozisyonunun nasıl olması gerektiğini belirlemiştir (Niknam, 2011).

Maciel ve ark. (2012), DÜ birimlerinin entegrasyonundan kaynaklanan zorluklar ile ilgili olarak dağıtım şebekelerinin planlanması sürecine çoklu-amaç bir yöntem önermişlerdir. Bu bağlamda, Çoklu-amaç Gelişimsel PSO kullanmışlardır. Önerilen Yöntem Baskın Olmayan Sıralamalı Genetik Algoritma II (BOSGA-II) ve Çoklu-amaç Tabu Arama (MOTA) ile karşılaştırılmıştır (Maciel ve ark., 2012).

Weng ve ark. (2017), IEEE 34-baralı test sisteminde akıllı şebeke bağlamında DÜ entegrasyonu için geçici gerilim bozulma kaynağı yerleştirilmesinde geliştirilmiş PSO

önermişlerdir. İlk olarak, DÜ birimlerinin entegrasyonunda geçici gerilim bozulma kaynağı üzerinde etkileri analiz edilmiştir. Böylece, iki yeni güvenilirlik indeksi, izleme güvenilirliği ve kısmi güvenilirlik, her bir güç kalitesi monitöründe (PQM) karar sonucunun güvenilirliğini, DG entegrasyonu, bozulma şiddeti ve dalgalanma karakteristiği de dahil olmak üzere çoklu faktörler dikkate alınarak ölçmek için tanımlanmıştır (Weng ve ark., 2017).

Khatod ve ark. (2013), çalışmalarında Evrimsel Programlama (EP) tabanlı bir yöntemle, güneş enerjisi ve rüzgar enerjisi tabanlı YEK birimlerinin radyal dağıtım şebekelerine en iyi şekilde yerleştirilmesini sunmuşlardır. Dahası, simülasyon çalışmalarını 69-baralı test sisteminde gerçekleştirmişlerdir (Khatod ve ark., 2013).

Syahputra ve ark. (2015), Endonezya’da 60 baralı bir sistemde DÜ kaynaklarının entegrasyonu için modifiye edilmiş PSO algoritması kullanmışlardır. Böylece sistem tekrar yapılandırılarak verimliliği artırılmıştır (Syahputra ve ark., 2015b).

Cheng ve ark. (2015), dağıtım şebekelerinde DÜ birimlerinin optimal entegrasyonu için Tercih Stratejili Geliştirilmiş PSO algoritmasını ele almışlardır. Çalışmada, temel amaç şebeke aktif güç kaybını, enerji üretim maliyetini ve gaz emisyonunu azaltmaktır (Cheng ve ark., 2015).

Devi ve Geethanjali (2014), 12, 34 ve 69 baralı test sistemlerinde güç kaybını azaltmak ve gerilim kararlılığını iyileştirmek için Bakteri Arama Optimizasyon (BAO) algoritmasını kullanmışlardır. Bu bağlamda, DÜ birimlerinin şebekeye yerleştirilmesi sağlanmıştır (Devi ve Geethanjali, 2014a).

Prabha ve Jayabarathi (2016), 33 ve 69 baralı radyal test sistemlerinde İstilacı Bitki optimizasyonu (IBO) algoritması kullanarak DÜ birimlerinin optimal yerleşimini ve boyutlandırılmasını sağlamışlardır. Böylelikle güç kaybını ve işletim maliyetini azaltmış ve gerilim kararlılığını iyileştirmişlerdir (Prabha ve Jayabarathi, 2016).

Devabalajiv ve Ravi (2016), 33 ve 119 baralı radyal şebekelerde DÜ birimlerinin ve Dağıtık Statik Kompanzastör (DSTATCOM) ünitelerinin optimal yerleşimini ve boyutunu belirlemek için BAO algoritmasını kullanmışlardır. Dahası, güç kaybını ve işletim maliyetini azaltmış ve gerilim profilini iyileştirmişlerdir (Devabalaji ve Ravi, 2016).

ChithraDevi ve ark. (2017), 33 ve 69 baralı test sistemlerinde ve 94 baralı Portekiz elektrik şebekesinde DÜ birimlerinin en iyi baraya yerleştirilmesini ve boyutlandırılmasını sağlamışlardır. Çalışmada, güç üretimi, gerilim sınırları, güç dengesi ve yerleştirme kısıtları göz önüne alınarak hat kayıpları minimize edilmiştir. Yine bu

çalışmada, Damızlık Krill Sürüsü (DKS) algoritması kullanılmıştır (ChithraDevi ve ark., 2017).

Sheng ve ark. (2015), Geliştirilmiş Baskın Olmayan Sıralamalı GA-II (GBOSGA-II) kullanarak DÜ birimlerinin şebekede optimal planlamasını gerçekleştirmişlerdir. Simülasyon çoklu üniteler göz önüne alınarak IEEE 33-baralı sistemde test edilmiştir. Ayrıca, çalışmada güç kaybını azaltma, gerilim salınımını düşürme ve gerilim profilini iyileştirme ele alınmıştır (Sheng ve ark., 2015).

Tolabi ve ark. (2015), bulanık tabanlı ACO algoritması kullanarak PV sistemlerinin ve DSTATCOM'ların şebeğe yerleştirilmesini ele almışlardır. Simülasyon çalışmasında güç kaybı azaltma, gerilim profili iyileştirme ve fiderlerde yük dengesi sağlama problemleri göz önüne alınmıştır. Bunlarla birlikte, simülasyon çalışmaları IEEE 33-baralı test sisteminde ve 11.4-kV bir gerçek dağıtım şebekesinde test edilmiştir (Tolabi ve ark., 2015).

Ashari ve Syahputra (2014), bulanık tabanlı bir yaklaşım kullanarak 33-baralı test sisteminde DÜ entegrasyonunu güç kaybı bağlamında ele almıştır. Bu çok amaçlı yaklaşımda gerilim salınımı ve fider yük dengesi de iyileştirilmiştir (Ashari ve Syahputra, 2014).

Sedghi ve ark. (2016), yaptıkları çalışmada, rüzgar enerjisindeki belirsizlikler göz önüne alınarak 21-baralı dağıtım sistemde depolama ünitelerinin optimal planlamasını sağlamışlardır. Uzun vadeli planlama için kısa vadeli yük akış problemini çözmüşlerdir. Çalışmada, hibrit TA ve PSO algoritması kullanılmıştır (Sedghi ve ark., 2016).

Mahmoud ve ark. (2016), yaptıkları çalışmada etkili bir analitik yöntem kullanarak farklı tipte DÜ birimlerinin dağıtım şebekelerine entegrasyonunu sağlamışlardır. Dahası, entegrasyon optimal güç akışı problemi çözülerek sağlanmıştır. Yazarlar, simülasyonu 33 ve 69 baralı sistemlerde gerçekleştirmişlerdir (Mahmoud ve ark., 2016).

Vatani ve ark. (2016), analitik ve GA kombinasyonlu bir yaklaşım kullanarak DÜ birimlerinin şebeğe yerleştirilmesini sağlamışlardır. Böylece sistem güç kayıpları minimize edilmiştir. Simülasyon çalışması 33 ve 69 baralı sistemde gerçekleştirilmiştir (Vatani ve ark., 2016).

Lin ve ark. (2017), büyük ölçekli DÜ birimlerinin şebekelere entegrasyonu için genellenmiş Benders Ayrışması (GBA) yaklaşımını kullanmışlardır. Yapılan analitik ve nümerik çalışmalar bu yöntemin geleneksel ayırık yöntemlere kıyasla daha etkili bir sonuç elde ettiğini göstermiştir. Çalışmada çeşitli test şebekeleri ele alınmıştır. Ayrıca,

çalışmada güç kayıpları azaltılmış ve gerilim salınımları iyileştirilmiştir (Lin ve ark., 2017).

Meena ve ark. (2017), DÜ birimlerinin küçük ölçekli ve büyük ölçekli şebekelere optimal entegrasyonu için Taguchi yöntemini kullanmışlardır. Çalışmalarını 33, 118 ve 201 baralı sistemlerde gerçekleştirmişlerdir (Meena ve ark., 2017).

Kollu ve ark. (2014), DÜ birimlerinin dağıtım şebekelerine yerleştirilmesi için diferansiyel operatörlü HSA kullanılmıştır. Bu yöntemle şebeke güç kayıpları azaltılmış ve gerilim profili iyileştirilmiştir. Yazarlar yöntemin performansını ve etkinliğini göstermek için 33 ve 69 baralı radyal dağıtım sistemlerini, test amaçlı, kullanmışlardır (Kollu ve ark., 2014).

Syahputra ve ark. (2015), radyal dağıtım şebekelerine DÜ birimlerinin entegrasyonu için genişletilmiş PSO algoritması kullanmışlardır. Böylece iki adet test şebekesinde güç kaybını azaltmış, gerilim profilini iyileştirmiş ve fiderlerin yük dengesini sağlamışlardır (Syahputra ve ark., 2015a).

Kumar ve ark. (2017), çoklu-amaç PSO kullanarak YEK tabanlı DÜ birimlerinin 33-baralı test sistemine entegrasyonunu sağlamışlardır. Çalışmada, güç kaybının azaltılması ve gerilim kararlılık indeksinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca, güç üretim dengesi ve gerilim limitleri problemin kısıtları olarak seçilmiştir (Kumar ve ark., 2017).

Kopacak (2016), yaptığı çalışmada Türkiye'deki Karaman Ayrancı dağıtım şebekesine bağlanacak 8 MW'lık güneş santralinin entegrasyonunu ve etkilerini incelemiştir. Ayrıca çalışmada, coğrafik koordinatları ve PSS®SINCAL yazılımındaki yük akışını ve kısa devre analizlerini kullanmıştır. Böylece şebekedeki değişken yük durumları için hatlardaki, trafolardaki ve baralardaki aşırı yüklenmeler değerlendirilmiştir (Kopacak, 2016).



### 3. AKILLI ELEKTRİK GÜÇ SİSTEMLERİ (AEGS), ÖZELLİKLERİ VE STANDARTLARI

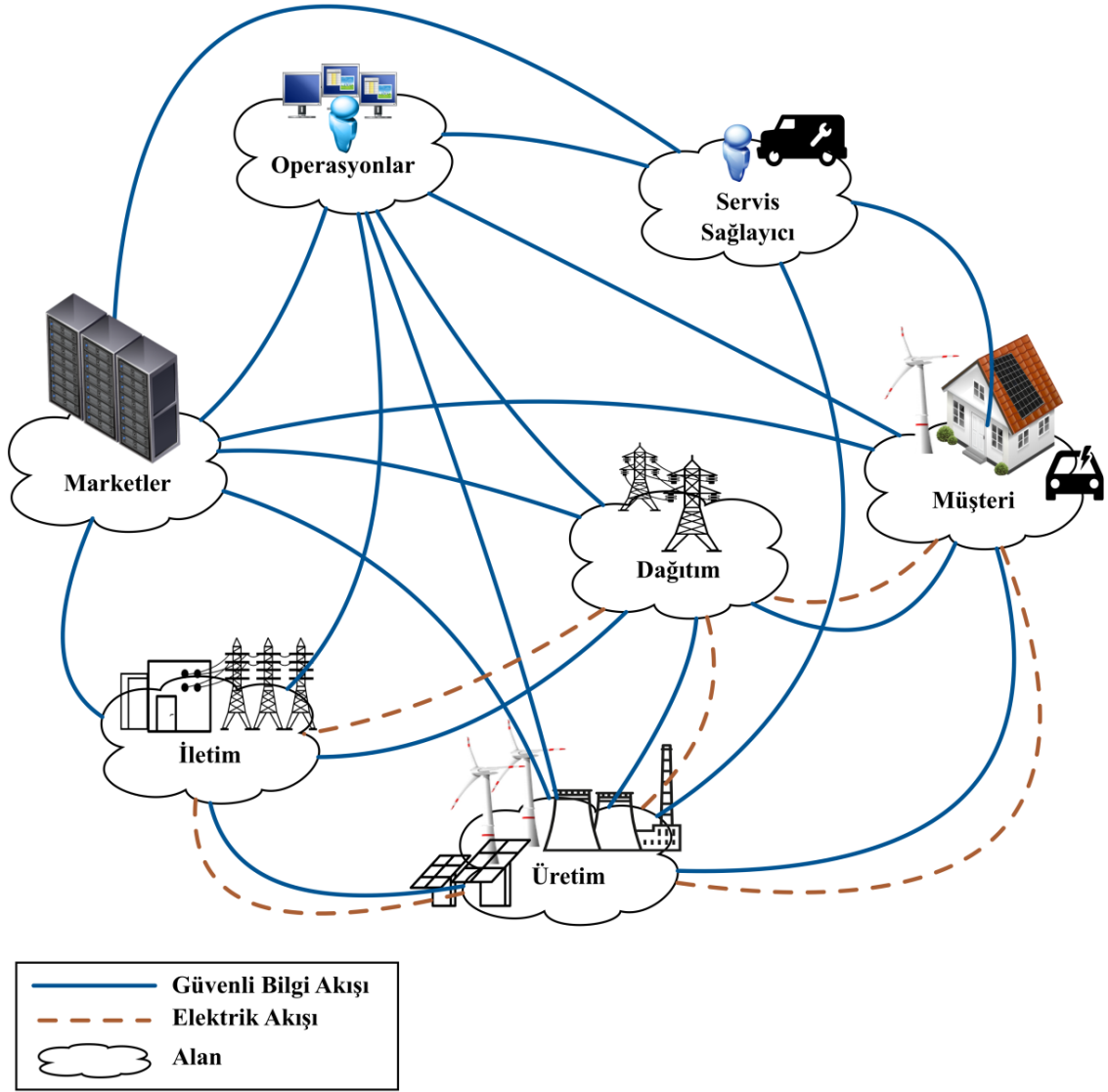
Bu bölümde akıllı elektrik güç sistemleri (AEGS), diğer bir deyişle akıllı şebekeler, özellikleri ve standartları hakkında bilgi verilmiştir.

#### 3.1. Akıllı Şebekeler

Günümüzde gelişen teknoloji elektrik şebekelerinin her alanında yerini almaktadır. Böylece şebekelerin kontrolü, takibi ve onarımı kolaylaşmakta ve içerisinde yer alan birimlerin birbiri ile haberleşmesi kolaylıkla sağlanmaktadır. Bir elektrik şebekesinde yer alan yapıların sorunlara hızlı cevap vermesi, yapısal değişimlere kendi kendine olanak sağlaması, farklı kaynakların kullanılabilmesi ve enerji talebini karşılayabilmesi istenir. Akıllı bir yapı, içerisindeki donanım ve yapılar, daha az maliyet ve daha fazla güvenilirlik ile farklı kaynakların şebekeye dahilini sağlar (Blaabjerg ve ark., 2006; Marken ve ark., 2009; Metke ve Ekl, 2010).

Bir şebekenin ve bileşenlerinin birbiri ile uyumlu olması, düşük maliyetli olması, hızlı tepki verebilmesi, esnek yapıda olması, şebeke genişlemelerine olanak sağlaması ve gerçek zamanlı çalışması beklenir. Akıllı bir şebeke, müşterileri, üreticileri ve düğüm noktalarını kontrol edebilen, gözlemleyebilen, üretim santralleri ile müşteriler arasında çift yönlü güç akışı sağlayabilen ve sorunlara kendiliğinden cevap verebilen ağ olarak tanımlanabilir (Report, 2003). Bir AEGS'nin yapısı Şekil 2.1'de gösterilmiştir (Baloğlu, 2017). Halihazırda şebekeler, kontrol merkezine, YEK'lere ve haberleşme altyapısına sahiptir ve zaman içerisindeki talep ve şebeke değişimi bir sonraki ilerlemeleri gösterebilir. Bu açıdan, bir AEGS, mevcut şebekenin teknolojik olarak donatılması ile oluşur şeklinde tanımlanabilir.

Teknolojik gelişmeler şebekelere ilave edilmesine rağmen dünya çapında yeterli altyapılar kurulamamıştır. Bu nedenle, ülkeler elektrik şebekelerini hızla iyileştirmekte, daha akıllı şebekeler ile yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji kaynaklarının kullanımı için çalışmalar yapmaktadırlar. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler enerji üretiminde yenilenebilir kaynakların belirli bir oranda olması için gerekli düzenlemeleri yapmaktadırlar (Baloğlu, 2017).



Şekil 2.1 Bir AEGS modeli.

Akıllı bir sistemin mevcut şebekelerden farklı olarak sahip olduğu bileşenler vardır. Bunlar, hızlı tepki veren akıllı sayaçlar ki uzaktan tüketiciyi gözlemede ve tüketime göre fiyatlama yapan tekniklerde kullanılır, gerçek zamanlı veri transferi sağlayan çift yönlü haberleşme mekanizmalar, gelişmiş kontrol sistemleri, ara-yüzler, karar vermeye yardımcı ve analitik beceri içeren donanımlar ve yapılar, ve kolay kullanılan yazılımlardır (Borlase, 2016).

### 3.1.1. AEGS'lerin özellikleri

Akıllı bir şebeke sayısal yapıda olmalıdır. Bu kapsamda, şebeke hızlı, güvenilir ve ölçümlenebilir olmalı, en iyi biçimde kontrol edilebilmeli, şebekede optimizasyon hesapları verimli bir şekilde gerçekleştirebilmeli, şebekenin korunması, donanımlar arası iletişimi sağlayabilmeli ve etkili bir sorun giderme için sayısal bir ortamda olmalıdır. Akıllı bir şebeke esnek olmalıdır. Böylece, değişimlere adapte olabilmeli, her türlü yeni donanım eklenmesine imkan verebilmeli, şebekenin genişlemesine olanak sağlayabilmeli, farklı kontroller gerçekleştirebilmeli ve farklı coğrafi şartlara uyarlanabilir olmalıdır. Şebeke, sürekli enerji sağlayabilmeli ve arıza anında hızlı müdahale ederek kesintisiz enerji sağlayabilmelidir. Sayısal analizlere izin vermelidir ve analiz yöntemleri sistemde gömülü olmalıdır. Akıllı bir şebeke kendini onarabilmeli ve arızaları izole ederek enerjinin sürekliliğini gerçekleştirebilmelidir. Hatta, analiz yöntemleri ile hatalara karşı önlem alabilmelidir. Çevreye en az zarar veren bir yapı olmalıdır. Ayrıca, tüketici talebelerini değişken olamsı durumunda, şebeke ölçümlenebilir olmalı ve bu durumda kesinti olmaksızın kapasite değişikliği imkanı vermelidir (Ipakchi ve Albueh, 2009; Cunjiang ve ark., 2012).

Bir AEGS'de analiz yöntemleri, yük kontrolüne, talep yönetimine arıza tespitine, gerilim kontrolüne, yük tahminine, şebeke optimizasyonuna ve konfigürasyonuna, güç kalitesi problemlerine, yeni donanım ve yapıların katılımına uygulanırlar (Baloğlu, 2017). Şebekenin güvenilir ve verimli çalışmasında uygun analiz yöntemi kontrol sistemi dahilindedir. Böylece, otomasyon kendiliğinden karar verebilir ve operatörden bağımsız olarak bütün sistemi izeleyebilir, hatta kontrolünü sağlayarak müdahalelerde bulunabilir. Bütün bunlarla birlikte akıllı bir sistemde, bu durumlara uygun sensörler ve algılayıcılar ile haberleşme altyapısı bulunur.

### 3.1.2. AEGS'ler için standartlar

Farklı teknolojik ürünlerin ihtivası nedeniyle birbirinden ayrı standartlar geliştirilmiştir. Gelitirilen standartlar öncelikle, sayaç, talep yönetimi, ölçüm üniteleri, algılayıcılar, şebeke otomasyonu, YEK birimlerinin entegrasyonu, interaktif güvenlik ve veri haberleşmesi alanlarında belirlenmiştir (IEA, 2011).

Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE) tarafından hazırlanmış IEEE 2030 ve 1547 serisi standartlar AEGS ve mikro şebeke konularında kapsamlı bir şekilde bilgi vermektedir. Bu standartlar her iki alandaki çalışmalar için temel teşkil ederler. Ayrıca her iki standart, bütün olarak ANSI (Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü) tarafından kabul görmüştür. Özellikle, bu standartlar, YEK'lerin ve DÜ'lerin entegrasyonu sürecini kolaylaştırmaktadır (Koç ve ark.).

Diğer bazı kuruluşlar ve standartlar sırasıyla aşağıda verilmiştir (Baloğlu, 2017).

**Uluslararası alanda kabul gören kuruluşlar:**

1. NIST: Amerikan Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü
2. IEC: Uluslararası Elektroteknik Komisyonu
3. IEFT: İnternet Mühendisliği Görev Gücü
4. CEN: Avrupa Standardizasyon Komitesi
5. CENELEC: Avrupa Elektroteknik Standardizasyon Komitesi
6. ETSI: Avrupa Telekomünikasyon Standartları Enstitüsü
7. W3C: Dünya Çapında Web Konsorsiyumu
8. GWAC: Akıllı Şebeke Mimarlık Konseyi
9. NERC: Kuzey Amerika Elektrik Güvenilirliği Şirketi
10. SG-CG: Avrupa Komisyonu Akıllı Şebeke Koordinasyon Grubu

**Diğer bazı standartlar:**

1. IEC 62351: Güvenli otomasyon için standart.
2. IEC 15118: Elektrikli araçlar için sarj standardı.
3. RFC 6272: AEGS'ler için internet protokollerini tanımlayan standart.
4. IEC 61850: Haberleşme ağları ve sistemleri için standart.
5. ANSI C12.19: Akıllı sayaçlarda bulunan veri tabloları için standart.

## 4. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI VE ENTEGRASYONU

Günümüzde yenilenebilir enerji kaynakları (YEK) ile enerji talebinin karşılanması büyük oranlara ulaşmış bulunmaktadır. YEK ile elektrik üretimi, rutin olarak kullanılabilir yerli kaynakların kullanımına dayalı sürdürülebilir enerji hizmetleri sağlar. Son yarım yüzyılda güneş ve rüzgar enerjisi sistemleri hızla gelişmiş, kullanımı artarak sermaye maliyetlerinin ve üretilen elektriğin maliyetlerinin düşmesine neden olmuştur. Ayrıca, bu alanlardaki ürünlerin performansları hızla geliştirilmektedir. Günümüzde, biyo-kütle, solar fotovoltaik (PV), solar termal, rüzgar enerjisi, dalga enerjisi, jeotermal enerji, hidro enerji ve gelgit enerjisi sistemleri enerji üretiminde kullanılmaktadırlar (Herzog ve ark., 2001; Liserre ve ark., 2010).

Bu çalışmada, PV sistemler ve rüzgar enerjisi sistemleri ağırlıklı olarak ele alınacaktır. Dahası YEK sistemlerinin şebeke entegrasyonu ve zorlukları ele alınacaktır.

### 4.1. Rüzgar Enerjisi Sistemleri

Son yıllarda rüzgar enerjisi ile elektrik üretim sektörü oldukça artmıştır. Dünya genelinde rüzgar enerjisi sistemlerinin ve bu sistemler ile elektrik üretiminin pazarı büyük boyutlara ulaşmıştır. Özellikle Danimarka, Almanya, İspanya ve Çin bu alanda başı çeken ülkelerdir.

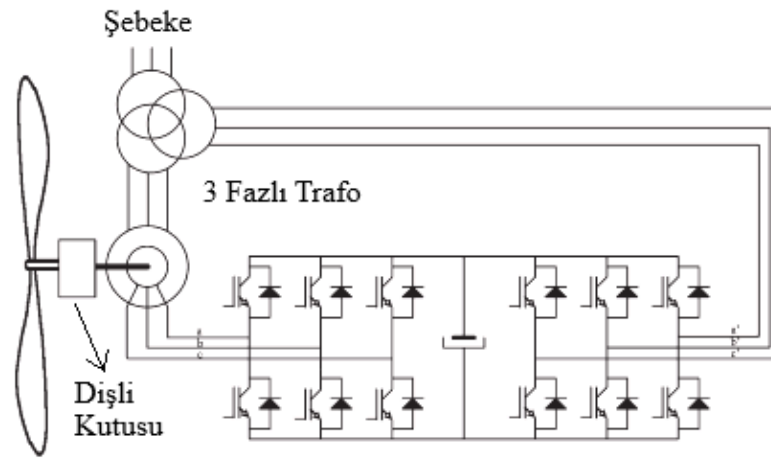
Rüzgar enerjisi sistemleri, geleneksel senkron jeneratörlerden oldukça farklıdır. Ayrıca, piyasada bulunan farklı rüzgar türbini tasarımları arasında farklılıklar vardır. Bu farklılıklar, rüzgar türbinlerinin elektriksel güç sistemi ile etkileşimine yansır. Üstelik rüzgardan elde edilen enerjiyi optimize etmek için rüzgar hızına bağlı olarak değişken hızlı çalışma şartlarına sahip rüzgar sistemleri piyasasında yeni teknolojiler geliştirilmiştir. Böylece yıllık enerji üretiminde % 5 daha fazla verim sağlanmakta ve üretilen aktif ve reaktif güçler kolayca kontrol edilebilmektedir. Değişken hızlı türbinler, reaktif güç üretimi değiştirebildiğinden, şebeke voltajının kontrol edilmesine olanak sağlarlar. Ancak dezavantaj olarak, değişken hızlı rüzgar türbinlerinin, bileşen sayısını arttıran ve kontrolü daha karmaşık hale getiren bir güç dönüştürücüsüne ihtiyacı vardır. Bu sistem güç elektroniği elemanları kullanılarak sağlanabilir. Güç elektroniği

sistemlerinin toplam maliyeti, tüm rüzgar enerjisi sistemlerinin yaklaşık % 7'si kadardır (Carrasco ve ark., 2006).

Günümüzde geçerli birkaç rüzgar enerjisi teknolojisi mevcuttur. Burada bu teknolojilere kısaca değinilmiştir.

#### 4.1.1. Çift beslemeli indüksiyon jeneratörü kullanan değişken hızlı rüzgar türbinleri

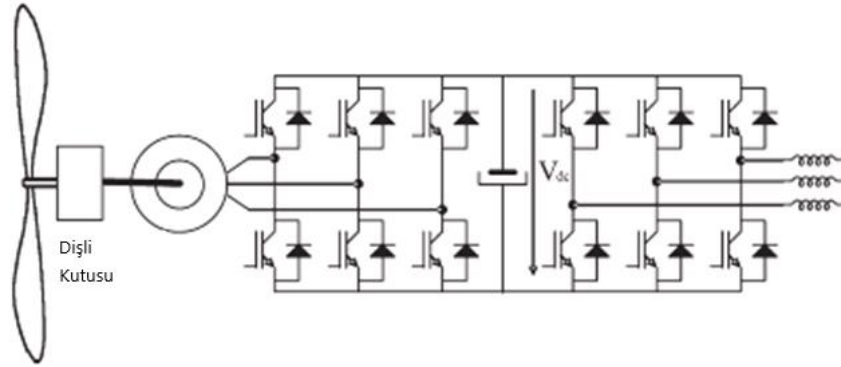
Bu sistemde dönüştürücü, rotor sargısını beslerken, stator sargısı doğrudan şebekeye bağlanır. Dönüştürücü, mekanik ve elektrik frekanslarını ayırarak ve değişken hızlı çalışmayı mümkün kılarak, elektriksel rotor frekansını değiştirebilir. Böyle bir türbin, sıfırdan nominal hıza kadar tam aralıkta çalışamaz, ancak hız aralığı oldukça yeterli gelir. Bu sınırlı hız aralığı, makinenin nominal gücünden oldukça küçük bir dönüştürücünün kullanılması gerçeğinden kaynaklanır. Prensip olarak, dönüştürücünün boyutu ile rüzgar türbini arasındaki oranın rotor-hız açıklığının yarısı olduğu söylenebilir. Dönüştürücünün daha küçük olmasının yanı sıra, kayıplar da daha düşüktür. Reaktif gücün kontrol olanakları, tam güç dönüştürücü sistemine benzer (Carrasco ve ark., 2006). Şekil 4.1'de bu teknolojiyi kullanan bir türbin yapısı verilmiştir. Sistem içerisinde iki adet üç fazlı AA-DA dönüştürücüsü bir kapasitör ile bağlanmıştır. Böylece hem aktif ve reaktif güç kontrol edilirken hem de dönüştürücü tarafından üretilen harmoniklerin büyük oranda şebekeyi etkilemesi engellenmiş olur.



Şekil 4.1 Çift beslemeli indüksiyon jeneratörü kullanan değişken hızlı türbin yapısı.

#### 4.1.2. Tam güç dönüştürücü kullanan değişken hızlı teknolojiler

Bu teknolojide, jeneratör tamamen şebekeden ayrılmıştır. Burada jeneratör alınan enerji DA'ya dönüştürülür ve daha sonra şebeke için uygun bir AA enerjiye dönüştürülür. Bu rüzgar türbinlerinin çoğunda, bir asenkron jeneratör ve bir dişli kutusu kullanmak da mümkün olmasına rağmen şebekeden bağımsız olarak işletilecek sistemler için çok kutuplu senkron jeneratörler de tercih edilebilir. Dişli kutusu olmamasının birkaç yararı vardır: azaltılmış kayıplar, bu pahalı bileşenin ortadan kaldırılması nedeniyle daha düşük maliyetler ve dönen mekanik bileşenlerin ortadan kaldırılması nedeniyle artan güvenilirlik (Carrasco ve ark., 2006). Şekil 4.2, bu teknolojiyi içeren bir türbin yapısını göstermektedir. Şekilde, türbin tarafındaki bir vektör kontrol stratejisi kullanan üç fazlı dönüştürücü, bir tork jeneratörünü kontrol eden sürücü gibi çalışır. Şebeke tarafında yer alan üç fazlı dönüştürücü şebekeye enerji aktarımına izin verir ve şebekeye verilen aktif ve reaktif güçlerinin miktarını kontrol etmeyi sağlar, ayrıca, TDH katsayısını mümkün olduğu kadar düşük tutar ve şebekeye sağlanan enerjinin kalitesini artırır. DA bağlantının amacı, enerjiyi depolamaktır, böylece rüzgardan elde edilen enerji, kapasitörlerde bir yük olarak depolanır ve şebekeye anında enjekte edilebilir. Kontrol sinyali, DA bağlantının voltajına sabit bir referans sağlayacak şekilde ayarlanır.



Şekil 4.2 Tam güç dönüştürümlü değişken hızlı rüzgar türbini yapısı.

#### 4.1.3. Diğer yarıiletken teknoloji rüzgar türbinleri

Rüzgar türbini uygulamaları için değişken frekanslı güç elektroniği sürücülerinin performansındaki ve güvenilirliğindeki iyileştirmeler, daha iyi elektriksel özelliklere ve daha düşük fiyatlara sahip güç yarıiletken cihazlarının kullanılabilirliğiyle doğrudan

ilişkilidir. Türbinlerin maliyeti, boyutları ve performansı bütün bu yapılara doğrudan bağlıdır.

IGBT'ler türbinlerde kullanılan bir komponent haline gelmiştir. IGBT'ler yüksek gerilim uygulamalarında sıkça tercih edilmektedirler. Bu durum, yüksek anahtarlama frekanslarından, modüler yapılarından ve yüksek gerilimli çalışma noktalarından kaynaklıdır. Dahası ömürleri uzundur ve silikon yapı izole edilmiştir ve yüksek frekanslarda bile düşük elektromanyetik emisyon için topraklanmıştır. Ancak, IGBT'lerin gerilim düşümü fazladır. Bu durum bir dezavantaj olmaktadır (Carrasco ve ark., 2006).

## 4.2. PV Sistemler

Alternatif bir enerji kaynağı veya hibrit sistemlerde tamamlayıcı bir enerji kaynağı olarak PV sistemler, bu alandaki araştırma ve geliştirme çalışmalarının artması nedeniyle uygulanabilir hale gelmiştir.

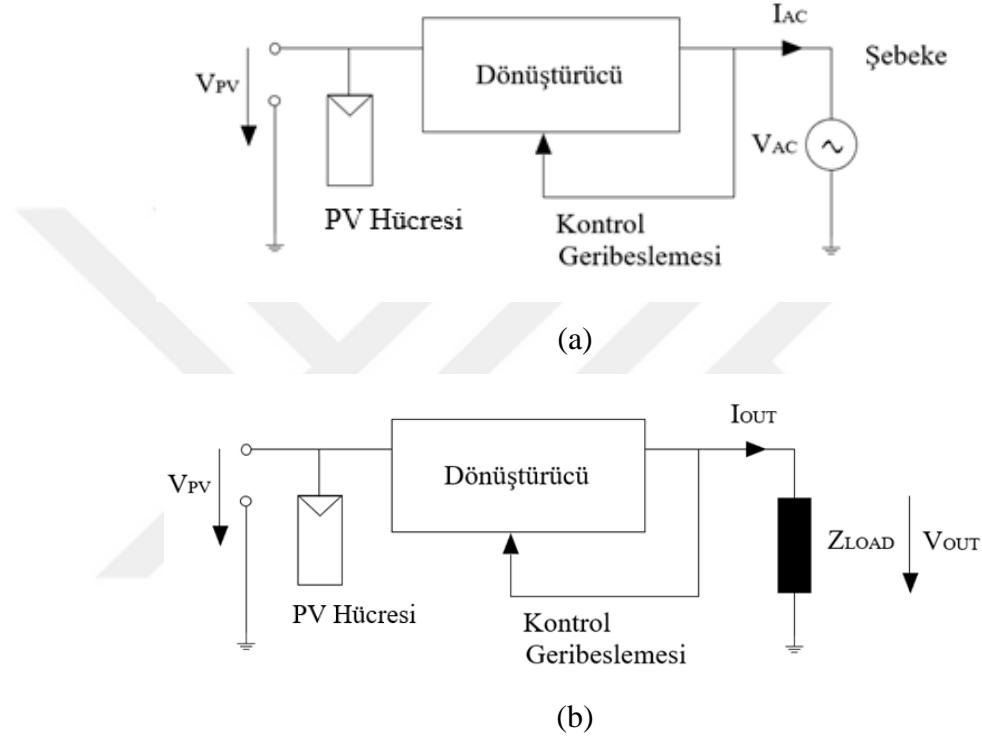
PV sistemlerinin başarısını en üst düzeye çıkarmak için, önerilen PV topolojilerinde yüksek güvenilirlik, makul maliyet ve kullanıcı dostu bir tasarım sağlanmalıdır. PV-modül bağlantısında, yardımcı firmalar tarafından verilen bazı standartlara uyulmalıdır. Günümüzde EN61000-3-2, IEEE1547 ve ABD Ulusal Elektrik Yasası (NEC) 690 ve Gelecekteki Uluslararası Standart (Karar Verme Komitesi Taslağı-CDV) IEC61727) dikkate alınan standartlardır. Bu standartlar, güç kalitesi, tekil işletme, topraklama, vb. konular ile ilgilenmektedirler. Ayrıca, mevcut ve gelecekteki PV modüllerinin yapısını ve özelliklerini tanımlarlar (Carrasco ve ark., 2006).

### 4.2.1. PV-dönüştürücü tasarımları

Transistör teknolojisindeki ilerlemeler nedeniyle, invertör topolojileri, tristör donanımlı şebekeye bağlı invertörlerden küçük IGBT donanımlı cihazlara dönüşmüştür. Bu transistörler daha fazla enerji elde etmek ve bağlantı standartlarını karşılamak için güç anahtarlama frekansını artırmaya izin verir. İnvörtörlerin bir tekillik (kendi yükü veya üretimi ile eşdeğer yükleri besleme durumu) durumunu tespit edebilmeleri ve kişileri ve ekipmanı korumak için uygun önlemleri almaları gerekmektedir. Böyle bir durumda,



şebeke, sadece yerel yükleri besleyen invertörden ayrılır (Carrasco ve ark., 2006). Bu, nötr hatlı bir şebeke bağlantısına sahip tek fazlı invertör, şebeke tarafında topraklanmış bir sistem olduğundan, birçok yüksek güçlü transformatörsüz sistem için zahmetli olabilir. Genel olarak, PV hücreleri şebekeye bağlanabilir (şebekeye bağlı uygulamalar) veya izole edilmiş güç kaynakları olarak kullanılabilirler. PV sistemlerinin bu iki farklı uygulaması Şekil 4.3'te gösterilmiştir.

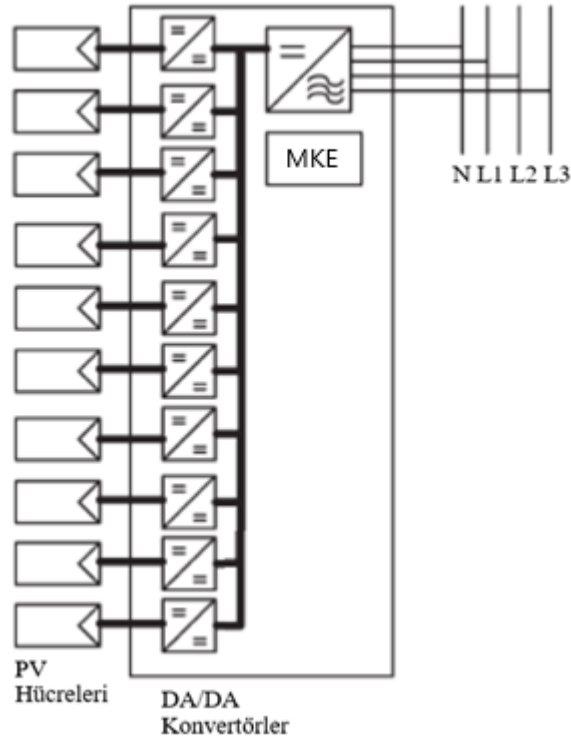


**Şekil 4.3** PV uygulamaları: (a) Şebeke Bağlantılı, (b) Kaynak olarak bir yükü besleme.

Dönüştürücü topolojilerinin bazı sınıflandırmaları, güç işleme aşamalarının sayısı, güç-dekuple kapasitörlerinin konumu, transformatörlerin kullanımı ve şebeke arayüz tipleri ile bağlantılı olarak tanımlanabilir.

PV dönüştürücü topolojileri anlatılmadan önce, invertör ailelerinin üç tasarımı tanımlanmıştır (Blaabjerg ve ark., 2004; Carrasco ve ark., 2006): merkezi invertörler, modül yönelimli veya modüle entegre invertörler ve dizge invertörleri. Merkezi dönüştürücüler, DA tarafında paralel ve/veya seri olarak bağlanırlar. PV santralının tamamı için bir dönüştürücü kullanılır. Bu topolojinin nominal gücü birkaç megawatt (MW) civarındadır. Birkaç bileşenli modül yönelimli dönüştürücüler genellikle seri olarak DA tarafında ve AA tarafında paralel olarak bağlanır. Bu tür PV güç santrallerinin

nominal güç değerleri birkaç MW civarındadır. Diğer taraftan, modül entegre dönüştürücü topolojisinde, PV modülü başına bir dönüştürücü bulunur ve sistem AA tarafında paralel bağlantılıdır. Bu topolojide, gözetim için bir ana merkez bulunmalıdır. Bu topoloji enerji verimini optimize etmesine rağmen, dizgeli invertörden daha düşük bir verime sahiptir. Son topoloji, dizi PV sistemleri daha yüksek güçlere müsaade edebilmektedir. Şekil 4.4'te çoklu dizi bir 3-faz topoloji gösterilmiştir. Görüldüğü gibi sistem bir metkezi kontrollü evirici (MKE) birimi içermektedir.



Şekil 4.4 3-faz çoklu dizi konvertör topolojisi

#### 4.2.2. PV topolojileri

Geleneksel olarak PV sistemlerinin topolojileri iki ana kategoriye ayrılmaktadır: bir DA/DA konvertör içeren DA/DA invertörlü sistemler (izolayonlu veya izolasyonsuz) ve DA/DA konvertör içermeyen sistemler (Blaabjerg ve ark., 2004).

En yaygın dizi çevirici topolojisi, tam veya H köprü invertörüdür. Çeşitli modifiye edilmiş ve geliştirilmiş versiyonları da mevcuttur. Şebeke tarafı düşük frekanslı bir transformatöre sahip H-köprüsü, daha geniş bir giriş gerilimi aralığı sağlayan,

transformatör tarafından sağlanan, sistemin basit devresini, galvanik izolasyonunu ve voltaj yükselmesini karakterize eder. Bu dönüştürücü, ortak mod voltajları izolasyondan dolayı bir kaçak akım üretmediği için üç seviyeli taşıyıcı tabanlı darbe genişliği modülasyonu (PWM) teknikleriyle kontrol edilebilir. Baypas anahtarlama durumu (sıfır voltaj seviyesi), filtre indüktörü ile DA-bağlantı kondansatörü arasındaki reaktif bir akım akışını önler. H4 invertörü olarak da bilinen transformatörsüz H-köprüsü, şebeke indüktörünü faza ve nötr tellere bölerek düşük voltajlı trafodan kurtulur ve anahtarlama ortak mod voltaj ve kaçak akım sorunlarını çözmek için iki kutuplu bir PWM kullanır. Yüksek frekanslı DA/DA kademeli bir H-köprü, bir tam-köprü MOSFET invertörden, bir yüksek-frekans trafodan ve bir diyot tam köprü doğrultucudan oluşur. Bu yaklaşım, dönüştürücünün boyutunu büyük ölçüde azaltır ve düşük frekanslı trafo tabanlı topolojilere kıyasla güç yoğunluğunu iyileştirir. Bununla birlikte, ek dönüştürücü aşamaları daha yüksek kayıplar getirmektedir. Bazı sorunları önlemek için çeşitli geliştirmeler yapılmıştır. SMA tarafından üretilen H5 dizgeli invertör, hem pasif bileşenler arasındaki akım yolunu açmak hem de verimi artırmak ve kaçak akımı azaltmak için DA-bağlantı ve H-köprü invertörü arasına ilave bir anahtar eklemiştir (Kouro ve ark., 2015).

Ingeteam tarafından sunulan H6 topolojisi, H5 topolojisindeki negatif DA barasına ek bir anahtar ekliyor. Burada, H6, DA tarafta paralel bağlı tek diyotlu H6D1 ve iki diyot bağlı H6D2 versiyonlarına ayrılmaktadır. Üç seviyeli NPC invertörün (3L-NPC) ayrıca PV dizisi invertörleri için çeşitli modifiye edilmiş ve geliştirilmiş sürümleri vardır. ABL tarafından 5LHNPC invertör olarak bilinen iki adet 3L-NPC tam-köprülü invertör geliştirilmiştir. H-köprü tasarımı olduğu gibi, bu dönüştürücü aynı zamanda şebeke fazı ve şebeke nötr iletkenleri arasında dağıtılan simetrik bir filtre gerektirir. T-tipi veya üç seviyeli transistörlü klemensli invertör, Conergy tarafından geliştirilmiştir. Dönüştürücü, iki yönlü bir güç anahtarı kullanarak sıfır voltaj seviyesini oluşturmak için şebekenin fazını doğrudan nötrleştirir. İki yönlü anahtarlar, faz-sıralama anahtarları tarafından engellenen voltajın her bir yarısını bloke eder. Asimetrik basamaklı H-köprülü topolojisi Mitsubishi tarafından geliştirilmiştir. Bu topolojide, eşit olmayan DA voltaj oranlarıyla çalışan üç seri bağlantılı H-köprü hücresi bulunmaktadır. PV sistem, şebekeye aktif güç sağlayan H-köprü hücrelerinin sadece birine DA/DA yüksektici kademeleri üzerinden bağlanır (Kouro ve ark., 2015).

Çoklu-dizi konfigürasyonlar, birden fazla DA/DA kademesi içeren iki aşamalı sistemlerdir. Bu konfigürasyonlar, izoleli ve trafosuz olarak simetrik şebeke filtreli veya filtresiz uygulanırlar. Çoklu-dizi topolojileri için kullanılan en yaygın sistemler, yüksek frekans trafoları, doğrultucu diyot ve H-köprü tabanlı yüksek frekans izoleli DA/DA anahtarlama konvertörleri ve yükseltici konvertörlerdir. Diğer taraftan, merkezi invertör topolojisi esas olarak şebekeye büyük PV sistemlerini entegre için kullanılır. Pratikte bulunan en yaygın invertör topolojisi, tek bir DA hatta bağlı üç yarım köprüden (2L-VSI) oluşur. Invertör, PV modülünün yalıtımıyla sınırlı olan ve daha büyük dizeleri önleyen DA tarafında (tipik olarak 500 ile 800 V arasında) 1000 V altında çalışır. Şebeke bağlantısı, kayıpları azaltmak için enerji santralinin toplayıcısındaki voltajı yükseltmek için düşük frekanslı bir transformatör ile yapılır. Bir diğer topoloji AA modüldür. Bu modül bir geri dönüş eviricidir. Bu invertör, gerilim yükseltme işlemi gerçekleştirir ve H-köprü eviriciyi kontrol ederken galvanik izolasyonu, DA-hat gerilimini, şebeke senkronizasyonunu ve aktif/reaktif güç kontrolünü sağlar. Farklı bir AA-modül entegre invertör ise geri dönüş evirici yerine yüksek frekanslı bir trafo ve köprü diyot doğrulmaç içeren H-köprü seviyesi içerir (Kouro ve ark., 2015).

### **4.3. YEK Birimlerinin Şebeke Entegrasyonu ve Zorlukları**

Günümüzde YEK birimleri geleneksel jeneratörlere oranla oldukça küçüktür. Ortalama ticari bir rüzgar türbini 2 MW civarındadır. Bu durum bazı zorlukları ve fırsatları beraberinde getirmektedir. Etkili bir enerji üretimi için yenilenebilir üretim alanının iyi analiz edilmesi gerekmektedir. Bir alanda birden fazla birim birlikte kurulabilir. Ayrıca yenilenebilir kaynakların kurulu oldukları çiftlikler kendine has karakteristikleri ile ayrı bir şebeke oluşturabilir ve ana elektrik şebekelerine uzak kırsal alanlarda küçük boyutlu üretimler gerçekleştirilebilir.

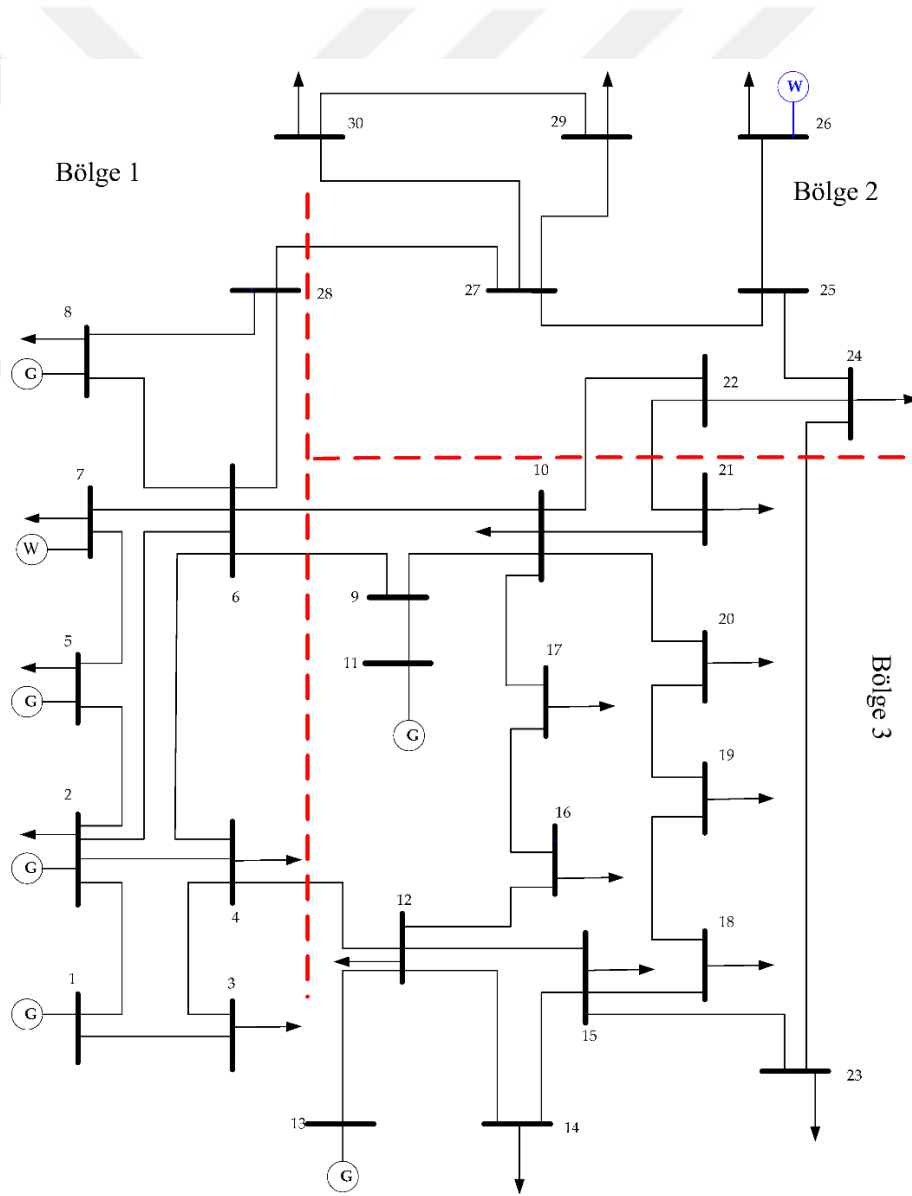
Şebekeye bağlanan YEK birimleri farklı dinamikler oluşturabilir. Özellikle uygun şekilde kontrol sağlanmazsa şebeke kararsız hale gelebilir ve hatta çökebilir. Öte yandan, yenilenebilir bir kaynağı hizmet şebekesine bağlama zorluğu güç elektroniği, optimizasyon çalışmaları vb yöntemlerle giderilebilir. Bu durumu iki ana başlıkta ayırmak mümkündür: maksimum güç transferi ve güç sınırlaması ile giriş tarafında kontrol ve yük karakteristiği dönüşümü sağlama ki böylece kaynaktan maksimum güç

aktarımı gerçekleştirme ve aktif/reaktif güç ve güç kalitesi kontrolü ile şebeke tarafı aktif güç üretimi kontrolü sağlama (Liserre ve ark., 2010).

YEK'lerin şebekeye entegrasyonunda bazı teknik zorluklar vardır. Bunlar şöyle sıralanabilir: harmonikler, frekans ve gerilim dalgalanmaları, kısa ve uzun süreli g salınımları, düzensiz, kesintili kaynaklar ve talep zamanlarının farklı olması nedeniyle üretilen enerjinin depolanması ihtiyacı, koruma, optimal yerleştirme, zayıf şebekelere bağlantı, tek yönlü iletimin olması, kaynak çeşitliliği ile beraber gelen senkronizasyon problemleri, dağıtım şebekelerinde güç akışının tek yönlü olması ve yerel gerilim kararlılığı sorunları (Anees, 2012). Bununla birlikte bazı olası çözümler önerilebilir: aktif şebeke kontrolü, yk ve talep yönetimi, büyük ölçekli enerji depolama ünitelerinin entegrasyonu ve aktif/reaktif güç ve gerilim kararlılığı için optimizasyon analizleri.

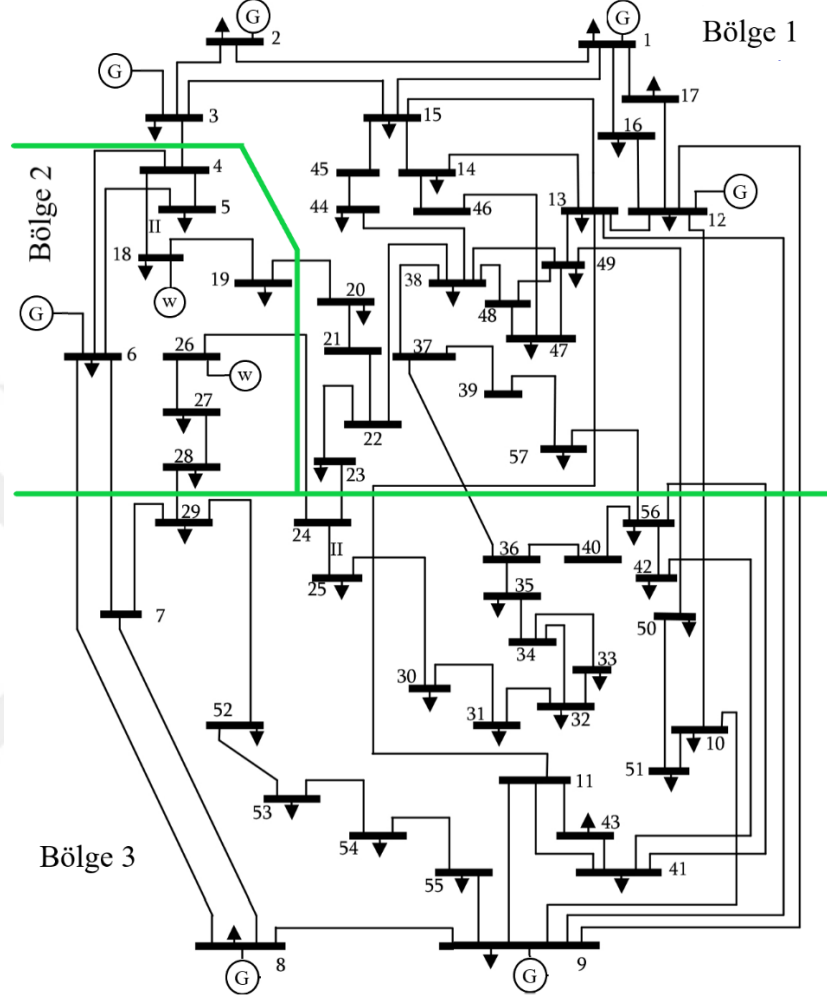
## 5. YEK'LERİN ŞEBEKEYE ENTEGRASYONU

Çalışmanın bu bölümünde, Rüzgar, PV ve Rüzgar-PV hibrit YEK üretim birimlerinin AEGS bağlamında şebekeye yerleştirilmesi gerçekleştirilecektir. Modifiye edilmiş IEEE 30, IEEE 57 ve IEEE 118 baralı sistemler ele alınacaktır. Standart test verileri Ameda tarafından online verilmiştir (Veri). Standart bir modifiye test sistemi olmadığından burada kullanılan sistemler bu çalışmaya özel olarak tasarlanmıştır. Modifiye edilmiş test sistemlerinin verileri Ekler bölümünde verilecektir. Test sistemleri, Bölge 1, Bölge 2 ve Bölge 3 şeklinde alanlara ayrılmıştır. Bu sistemler Şekil 5.1-5.3'de gösterilmiştir.



Şekil 5.1 Modifiye edilmiş IEEE 30 baralı test sistemi.

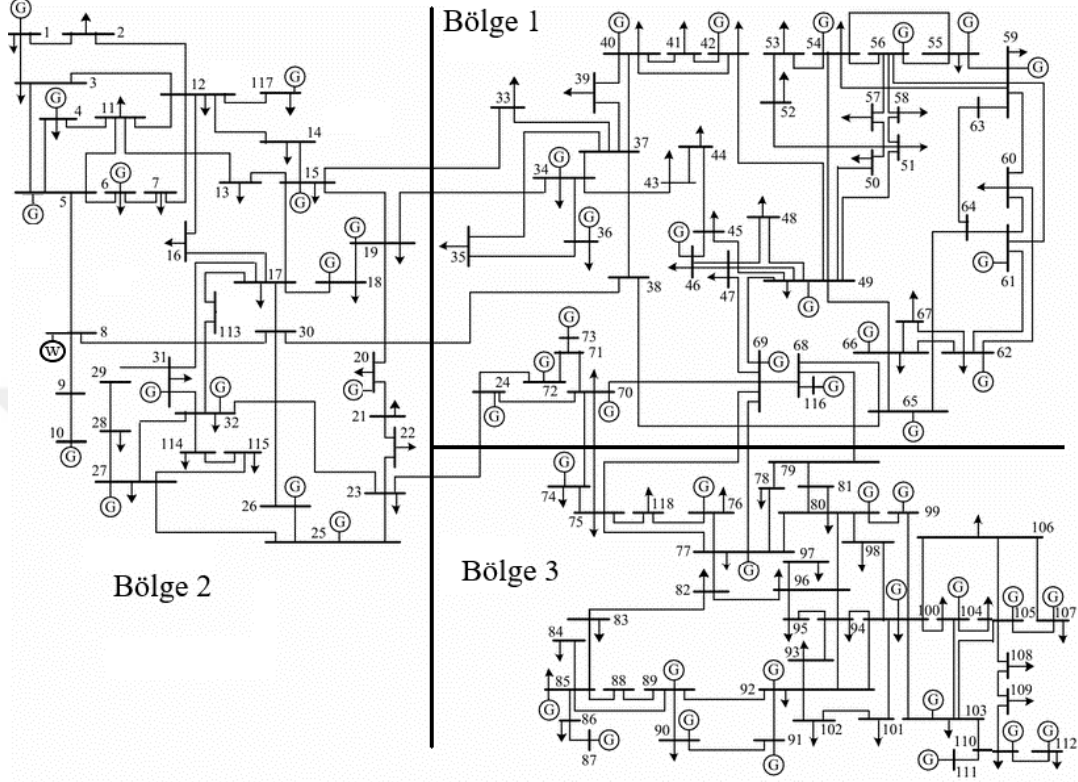
Bu çalışmada kullanılan teknolojiler ve topolojiler, rüzgar enerjisi için tam güç dönüştürücü hızlı türbin ve PV birimler için dizi topolojisidir. Modifiye edilmiş 30 baralı sistem iki adet Rüzgar tabanlı YEK üretim çiftliği içermektedir.



Şekil 5.2 Modifiye edilmiş IEEE 57 baralı test sistemi.

Benzer şekilde modifiye edilmiş 57 baralı sistem ve 118 baralı sistemde sırasıyla iki ve bir adet Rüzgar enerjisi tabanlı YEK üretim çiftliği bulunmaktadır. Sistemler, üç bölgeye ayrılmıştır ve bu bağlamda yeni yerleştirilecek YEK tabanlı üretim çiftlikleri her bölgeye yerleşmeyecek şekilde kısıtlanacaktır. Böylece özellikle talebin yoğun ve değişken olduğu bölgelerde üretim sağlanacaktır. Aşağıda problem tanımı yapılmıştır. Ayrıca problem kısıtları tanımlanmıştır. Bu tezde problem çözülürken, kayıp azaltılması, gerilim dalgalanmasının azaltılması, kurulum maliyeti optimizasyonu ve emisyonun azaltılması amaç fonksiyonu olarak seçilmiştir. Bu bağlamda, problem çoklu-amaç bir problem olarak ele alınmıştır. Diğer taraftan, YEK sistemleri dinamik olarak talebe cevap

verebilecek şekilde üretim gerçekleştirmelidir. Diğer bir ifade ile, yüklerin daha büyük olduğu bölgeler tercih edilecektir. Böylece mevcut termal birimlerin üretimi azaltılacak iken toplam elektrik üretimi arttırılacaktır.



Şekil 5.3 Modifiye edilmiş IEEE 118 baralı test sistemi.

Burada, YEK birimlerinin şebeke bağlantısının kullanılan teknolojileri sayesinde sorunsuz bir şekilde bağlanabildiği varsayılacaktır.

### 5.1. Problemin Tanıtılması

Bu çalışmada sunulan problem birden fazla optimizasyon edilecek amaç fonksiyonu içermektedir. Bu bağlamda, kullanılan yöntemler modifiye edilmiştir ve çözülecek problem çoklu-amaç fonksiyonu olarak ele alınacaktır. Burada, öncelikle çoklu-amaç problemi kısaca tanıtılacaktır. Daha sonra, kullanılan yöntemler ve bu yöntemlerin modifiye edilmiş durumları tanıtılacaktır.



### 5.1.1. Çoklu-amaç problemi

Çoklu-amaç problemleri birden fazla amaç fonksiyonu içerirler. Ayrıca amaç fonksiyonları çok boyutlu uzayda yer alırlar. Diğer bir deyişle, fonksiyonların değişkenleri çok boyutlu uzayın elemanıdır. Dahası optimize edilecek fonksiyonlar eş zamanlı çözümlenir. En basit çoklu-amaç konsepti aşağıda tanımlanmıştır (Coello ve ark., 2004; Reyes-Sierra ve Coello, 2006).

$$\begin{aligned}
 &\text{Minimize et,} \\
 &F(\vec{x}) = \{f_1(\vec{x}), f_2(\vec{x}), f_3(\vec{x}), \dots, f_k(\vec{x})\} \\
 &\text{Bağlı olarak,} \\
 &g_i(\vec{x}) \geq 0, i = 1, 2, 3, \dots, n \\
 &\text{ve} \\
 &h_i(\vec{x}) = 0, i = 1, 2, 3, \dots, m
 \end{aligned} \tag{5.1}$$

Burada,  $\vec{x} = [x_1, x_2, x_3, \dots, x_j]^T$  değişken vektörü,  $k$  amaç fonksiyonu sayısı,  $n$  eşitsizlik kısıtı sayısı,  $m$  eşitlik kısıtı sayısı ve  $j$  vektör boyutudur.

Bu problemler ilişkili operatörlere izin vermez. Açıkça belirtmek gerekirse, bir fonksiyon bir diğer fonksiyon ile bağlantılı değildir. Herbir fonksiyon ayrı bir şekilde ele alınır. Diğer taraftan, çoklu-amaç problemlerinin doğası gereği bazı operatörler gereklidir ve bu nedenle bazı tanımlamalar yapılır.

**Tanım 1.** Pareto Dominantlık: Bir  $\vec{u} = (u_1, u_2, u_3, \dots, u_k)$  vektörü  $\vec{v} = (v_1, v_2, v_3, \dots, v_k)$  vektörünü domine eder. Gerek ve yeter şart,  $\vec{u}$  vektörü kısmen  $\vec{v}$  vektöründen küçüktür ( $\vec{u} \preceq \vec{v}, u_i \leq v_i, \forall i \in \{1, 2, 3, \dots, k\}$ ).

Eğer Pareto dominantlık iki çözüm için sağlanmazsa, Pareto optimal veya domine olmayan çözümler kullanılır. Eğer en az bir kriterde eşzamanlı artan sebep olmaksızın bazı kriterleri azaltan uygun bir çözüm yoksa,  $\vec{x}^*$  pareto optimaldir.

**Tanım 2.** Pareto Optimallik: ,  $\forall i \in \{1, 2, 3, \dots, k\}, f_i(\vec{x}) = f_i(\vec{x}^*)$  veya en az bir  $i$  için  $f_i(\vec{x}) > f_i(\vec{x}^*)$  olması durumunda,  $\forall \vec{x} \in S$ ,  $S$  arama uzayında bir çözümdür ve  $\vec{x}^* \in S$  vektörü bir Pareto optimal çözümdür.

**Tanım 3.** Pareto Optimal Çözümler: Tekli optimizasyondan ziyade, çoklu-amaç problemleri bir dizi farklı çözümler içerir ve bu çözümlere Pareto optimal çözümler denir, ayrıca, objectif uzaya Pareto ön-yüzey denir.

Bir  $F(\vec{x})$  için, Pareto optimal çözüm kümesi  $P^*$ ,  $P^* := \{x \in S \mid x \text{ Pareto optimaldir}\}$  olarak belirtilir.

**Tanım 3.** Pareto Ön-Yüzey: Bir  $F(\vec{x})$  için, Pareto ön-yüzey  $PF^*$ ,  $PF^* := \{\vec{u} = f = (f_1(x), f_2(x), f_3(x), \dots, f_k(x)), x \in P^*\}$  olarak tanımlanır.

### 5.1.2. Matematiksel model

Bu çalışmada üç adet yenilenebilir enerji üretimine dayalı santral daha önce bahsi geçen şebekelere en uygun boyutta (en iyi üretim kapasiteli) ve en uygun lokasyona (en iyi bara) yerleştirme problemi için ele alınmıştır. Bu üretim çiftlikleri (üretim yapan birimlerin kurulu olduğu ve üretim yaptığı yerleşke) Rüzgar, PV ve Rüzgar-PV hibrit üretim santrallerinden oluşmaktadır. Burada üretim yapan hibrit santralde elektrik enerjisinin yarısı PV ünitelerinden, diğer yarısı rüzgar türbinlerinden elde edilmektedir. Diğer taraftan üretim yapılan saatlerde kaynakların sürekli olduğu varsayılmıştır. Diğer bir deyişle, PV sistemleri için saat 06:00 ile 18:00 arası 12 saatlik zaman dilimde güneşlenmenin olduğu ve rüzgar türbinleri için 24 saat içerisinde sürekli rüzgarın var olduğu varsayımı kabul edilmiştir.

Önerilen yöntemler için ele alınacak vektör Eşitlik 5.2'de verilmiştir. Burada,  $x$  değişken vektörü,  $n$  YEK üretim santrali sayısı,  $L$  bara numarası ve  $P$  YEK çiftliğinin maksimum üretim kapasitedir.

Bu çalışmada, yeni bir sürü tabanlı algoritma geliştirilmiştir (Yapıcı ve Çetinkaya, 2017). Dahası, günümüzde sıkça kullanılan ve son yıllarda geliştirilmiş sürü tabanlı algoritmalar, geliştirilen algoritmanın performansını göstermek amacıyla, sonuçların karşılaştırılması için kullanılmıştır.

$$x_i = [L^1, \dots, L^n, P^1, \dots, P^n], \quad i \in \text{populasyon sayısı}, \quad (5.2)$$

Önerilen yöntemlerin tamamı birden fazla amaç problemi olmasından dolayı çoklu-amaç algoritmaları olarak ele alınmıştır. Karşılaştırmanın eşit bir şekilde yapılabilmesi için popülasyon sayısı ve iterasyon sayısı 100 olarak seçilmiştir. Önerilen yöntemler MATLAB yazılımı ile i7, 3.0 GHZ işlemcili, 8GB belleğe ve ayırık 2GB ekran kartına sahip bir bilgisayarda kodlanmış ve çalıştırılmıştır. Optimal güç akış analizi için Zimmerman ve ark. tarafından geliştirilen MATPOWER programı kullanılmıştır (Zimmerman ve ark., 2011).

Diğer taraftan, önerilen yazılımın 4 boyutlu gösterime uygun olmaması nedeniyle optimal Pareto önyüzey şekilleri üç amaç fonksiyonu kullanılarak dört durumda verilmiştir. Birinci durumda güç kaybı, maliyet optimizasyonları ve gerilim dalgalanması, ikinci durumda güç kaybı, maliyet ve emisyon optimizasyonları, üçüncü durumda güç kaybı, gerilim dalgalanması ve emisyonu optimizasyonları ve son durumda maliyet, gerilim dalgalanması ve emisyon optimizasyonları gösterilmiştir. Problemin matematiksel modeli aşağıda verilmiştir (Niknam ve ark., 2011).

$$\begin{aligned}
 F_1(\vec{x}) &= \min(\sum_{i=1}^{NB} (|I_i|^2 R_i)), \\
 F_2(\vec{x}) &= \min\left(\sum_{i=1}^{NB} \frac{|V_n - V_i|}{V_n}\right), \\
 F_3(\vec{x}) &= \min(E^{pv} + E^r + E^{hibrit} + \sum E^{termal}), \\
 E &= \sum_j \alpha_j P_j^2 + \beta_j P_j + \gamma_j + \xi_j \exp(\lambda_j P_j) \\
 F_4(\vec{x}) &= \min(\sum_{k=1}^{Nk} C_k(P_k) + Cs), \\
 C(P) &= a + b \times p, \\
 a &= \frac{ana\ maliyet(tl/kW) \times kapasite(kW) \times Ri}{kullanum\ ömrü \times 365 \times 24 \times L_y} \\
 b &= yakıt\ maliyeti(\$/kWh) + OM(\$/kWh)
 \end{aligned} \tag{5.3}$$

Burada,  $i$  bara indeksi,  $NB$  bara sayısı,  $I$  hat akımı,  $R$  hat direnci,  $V_n$  nominal gerilim,  $V_i$  bara efektif gerilimi,  $j$  termal birimlerin indeksi,  $P$  üretim santrali güç çıkışı,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\xi$  ve  $\lambda$  emisyon sabitleri,  $E$  toplam emisyon,  $Ri$  yıllık fazi oranı,  $L_y$  yük faktörü,  $OM$  işletim ve bakım maliyeti ve  $Cs$  santral güçlerinin toplamı ve  $C(P)$  her bir santralin kurulum maliyeti ve  $p$  her bir birimin aktif güç kapasitesidir. Bu çalışmada YEK birimlerinin ekonomik verileri Tablo 5.1'de verilmiştir (2016). Tabloda kW (kilowatt)

birimin gücünü, OM onarımı ve bakımı ve  $y$  ise yılı ifade etmektedir. Dahası, her bir test sistemi için emisyon sabitleri sırasıyla Tablo 5.2, Tablo 5.3 ve Tablo 5.4'te verilmiştir.

**Tablo 5.1.** Ekonomik değerler (\$ olarak verilmiştir).

Teknoloji	Ortalama kurulum maliyeti (\$/kW)	Kurulum maliyeti sapması. (+/- \$/kW)	Sabit OM (\$/kW-y)	Sabit OM sapması (+/- \$/kW-y)	Ömür (y)	Kullanım süresi için sapma (y)
PV <10 kW	\$3,897	\$889	\$21	\$20	33	11
PV 10–100 kW	\$3,463	\$947	\$19	\$18	33	11
PV 100–1,000 kW	\$2,493	\$774	\$19	\$15	33	11
PV 1–10 MW	\$2,025	\$694	\$16	\$9	33	9
Rüzgar <10 kW	\$7,645	\$2,431	\$40	\$34	14	9
Rüzgar 10–100 kW	\$6,118	\$2,101	\$35	\$12	19	5
Rüzgar 0.1–1 MW	\$3,751	\$1,376	\$31	\$10	16	0
Rüzgar 1–10 MW	\$2,346	\$770	\$33	\$16	20	7

**Tablo 5.2.** 30 baralı sistemdeki termal birimlerin emisyon sabitleri.

Jeneratör No	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\xi$	$\lambda$
1	0.06490	-0.05554	0.04091	2e-4	2.8570
2	0.05638	-0.06047	0.02543	5e-4	3.3330
3	0.04586	-0.05094	0.04258	1e-6	8.0000
4	0.03380	-0.03550	0.05326	2e-3	2.0000
5	0.04586	-0.05094	0.04258	1e-6	8.0000
6	0.05151	-0.05555	0.06131	1e-5	6.6670

Uygulanan problem için kısıtlar Eşitlik 5.3'te verilmiştir. Burada,  $n_{YEK}$  yenilenebilir tabanlı santral sayısı,  $kW_k$  YEK santralının üretim kapasitesi,  $\mu$  ülkelerin mücade ettiği yenilenebilir üretim miktarı yüzdesi,  $P_{yük}$  yüklerin toplam güç talebi,  $V_i$   $i$ . bara gerilimi ve  $s$  hatlardaki güç akışı miktarıdır. Burada şunu belirtmek gerekir ki min ve max değerlerin sırasıyla minimum ve maksimum değerleridir.

**Tablo 5.3.** 57 baralı sistemdeki termal birimlerin emisyon sabitleri.

Jeneratör No	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\xi$	$\lambda$
1	0.06	-0.05	0.04	2e-4	0.5
2	0.06	-0.06	0.03	5e-4	1.5
3	0.04	-0.05	0.04	1e-4	1.0
4	0.035	-0.03	0.035	2e-4	0.5
5	0.045	-0.05	0.05	4e-4	2.0
6	0.05	-0.04	0.045	1e-4	2.0
7	0.05	-0.05	0.06	1e-4	1.5

$$\begin{aligned}
 \sum_{k=1}^{n_{YEK}} kW_k &\leq \mu P_{yük} \\
 V_{imin} &\leq V_i \leq V_{imax} \\
 s &< s_{max}
 \end{aligned} \tag{5.4}$$

**Tablo 5.4.** 118 baralı sistemdeki termal birimlerin emisyon sabitleri.

Jeneratör No	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\xi$	$\lambda$
1	0.0480	-2.22	60	13.100	0.05690
2	0.0480	-2.22	60	13.100	0.05690
3	0.0762	-2.36	100	13.100	0.05690
4	0.0540	-3.14	120	0.9142	0.04540
5	0.0850	-1.89	50	0.9936	0.04060
6	0.0854	-3.08	80	13.100	0.05690
7	0.0242	-3.06	100	0.6550	0.02846
8	0.0310	-2.32	130	0.6550	0.02846
9	0.0335	-2.11	150	0.6550	0.02846
10	0.4250	-4.34	280	0.6550	0.02846
11	0.0322	-4.34	220	0.6550	0.02846
12	0.0338	-4.28	225	0.6550	0.02846
13	0.0296	-4.18	300	0.5035	0.02075
14	0.0512	-3.34	520	0.5035	0.02075
15	0.0496	-3.55	510	0.5035	0.02075
16	0.0496	-3.55	510	0.5035	0.02075
17	0.0151	-2.68	220	0.5035	0.02075
18	0.0151	-2.66	222	0.5035	0.02075
19	0.0151	-2.68	220	0.5035	0.02075
20	0.0151	-2.68	220	0.5035	0.02075
21	0.0145	-2.22	290	0.5035	0.02075
22	0.0145	-2.22	285	0.5035	0.02075
23	0.0138	-2.26	295	0.5035	0.02075
24	0.0138	-2.26	295	0.5035	0.02075
25	0.0132	-2.42	310	0.5035	0.02075
26	0.0132	-2.42	310	0.5035	0.02075
27	18.420	-1.11	360	0.9936	0.04060
28	18.420	-1.11	360	0.9936	0.04060
29	18.420	-1.11	360	0.9936	0.04060
30	0.0850	-1.89	50	0.9936	0.04060
31	0.0121	-2.08	80	0.9142	0.04540
32	0.0121	-2.08	80	0.9142	0.04540
33	0.0121	-2.08	80	0.9142	0.04540
34	0.0012	-3.48	65	0.6550	0.02846
35	0.0012	-3.24	70	0.6550	0.02846
36	0.0012	-3.24	70	0.6550	0.02846
37	0.0950	-1.98	100	14.200	0.06770
38	0.0950	-1.98	100	14.200	0.06770
39	0.0950	-1.98	100	14.200	0.06770
40	0.0151	-2.68	220	0.5035	0.02075

## 5.2. Kullanılan Yöntemler

Bu çalışmada, yeni geliştirilen Kartal Stratejisi ile geliştirilmiş PSO ve literatürden farklı olarak modifiye edilmiş kaotik Ateş Böceği (KAB) önerilmiştir. Karşılaştırma için, çoklu-amaç problemlerine göre modifiye edilmiş PSO, Salp sürüsü algoritması (SSA), AB ve GA kullanılmıştır. Bu alt bölümde yöntemler kısaca tanıtılacaktır.

### 5.2.1. Parçacık sürü optimizasyonu (PSO) algoritması

Parçacık sürü optimizasyonu (PSO) algoritması ilk defa Kennedy ve Ebehart tarafından önerilmiştir (1995). Bu algoritma kuşların ve balıkların göç hareketinden esinlenilerek geliştirilmiştir. PSO algoritmasının işleyişi oldukça basittir ve birkaç parametrenin ayarlanması yeterlidir. Global optimizasyon problemi çözümlerinde PSO ve türevleri sıkça kullanılmaktadır (Esmine ve ark., 2005; Hazra ve Sinha, 2007; Yapıcı ve Çetinkaya, 2016).

Öncelikle, PSO'da problemin parametreleri belirlenir ve popülasyon sayısı atanır. Popülasyondaki her değişken parçacık olarak adlandırılır. Değişken vektörü sınırları belirlenerek popülasyon içerisindeki her bir parçacık için rasgele bir hız vektörü atanır. Diğer adımda, parçacıklara sınır değerler arasında olacak şekilde bir konum rasgele oluşturulur. Bu aşamada her bir parçacık olası çözüm kümesini taşır. Pozisyon vektörü ve hız vektörü n-boyutlu uzayda, sırasıyla,  $x_i^k = \{x_1^k, x_2^k, \dots, x_n^k\}$  ve  $v_i^k = \{v_1^k, v_2^k, \dots, v_n^k\}$  şeklinde ifade edilir. Eğer bir parçacık en iyi konuma sahipse, bu konum uygun değer ile tespit edilir, bu parçacık bir sonraki pozisyon için kullanılır ve en iyi üye *pbest* olarak ifade edilir. En iyi konumlar arasından en fazla uygunluğu olan parçacık küresel en iyi *gbest* olarak seçilir. Burada, *k* iterasyon numarası, *i* parçacık indeksi ve *n* popülasyon sayısıdır.

Herbir parçacık için hız ve pozisyon vektörü *k*. iterasyonda, sırasıyla, Eşitlik 5.5 ve 5.6'daki gibi güncellenir.

$$v_i^{k+1} = w_i \cdot v_i^k + c_1 \cdot r_1 \cdot (pbest_i - x_i^k) + c_2 \cdot r_2 \cdot (gbest - x_i^k) \quad (5.5)$$

$$x_i^{k+1} = x_i^k + v_i^{k+1} \quad (5.6)$$

Burada, *w* ağırlık fonksiyonu, *r*<sub>1</sub> ve *r*<sub>2</sub> [0,1] aralığında rasgele atanan vektörler ve *c*<sub>1</sub> ve *c*<sub>2</sub> hızlanma sabitleridir. Genel olarak *c*<sub>1</sub> = *c*<sub>2</sub> = 2 olarak seçilirler (Shi, 2001; Yapıcı ve Çetinkaya, 2016). Ayrıca, her bir iterasyonda, ağırlık fonksiyonu aşağıdaki şekilde güncellenir.

$$w_i = 0.9 - \frac{0.9 - 0.4}{maksimum\ iterasyon\ sayısı} \cdot k \quad (5.7)$$

### 5.2.2. Salp sürüsü algoritması (SSA)

Salp sürüsü algoritması Mirjalili ve ark. tarafından ilk defa önerilmiştir (2017). Burada, bir deniz canlısı olan salpların düzenli hareketinden esinlenilmiştir. Bu yöntemde salp sürüsü bir zincir oluşturur ve bir lider tarafından hareket ettirilir ve kalan bireyler bu liderin takipçileridir. Lider salp sürünün önünde yer alır ve lider ile takipçilerin matematiksel olarak hareket eşitlikleri birbirinden farklıdır. Lider salp problemin uygunluğunu içerir ve bu değere doğrudan bağlıdır. Eşitlik 5.8’de matematiksel modeli verilmiştir. Takipçilerin matematiksel ifadesi Eşitlik 5.9’da gösterilmiştir. Burada işleyiş oldukça basittir. Dahası algoritma birkaç parametre içermektedir. Meta-sezgisel algoritmalarda iki faz bulunur: arama fazı ve sömürü fazı. Lider salp modelinde yer alan  $C_1$  parametresi çok önemlidir ve işleyiş sırasında arama ve sömürü fazlarındaki geçişleri kontrol eder.

$$x_j^1 = \begin{cases} F_j + C_1(C_2(\text{üst}_j - \text{alt}_j) + \text{alt}_j), & C_3 \geq 0 \\ F_j - C_1(C_2(\text{üst}_j - \text{alt}_j) + \text{alt}_j), & C_3 < 0 \end{cases} \quad (5.8)$$

$$C_1 = 2e^{-\left(\frac{4k}{\text{maksimum iterasyon sayısı}}\right)^2}$$

ve takipçi salpların eşitliği:

$$x_j^i = \frac{1}{2}(x_j^i - x_j^{i-1}) \quad (5.9)$$

burada,  $x$  popülasyondaki salpların konum vektörü,  $j$  boyut indeksi, *üst* değişkenlerin üst sınırı, *alt* değişkenlerin alt sınırı,  $C_2$  ve  $C_3$   $[0,1]$  aralığında rasgele oluşturulan katsayılar,  $k$  geçerli iterasyon numarasıdır.

Özellikle belirtmek gerekirse, bu algoritmada salp hareketleri bir düzen içerisinde ve takipçiler belirli bir düzende lider salpı takip ederler.

### 5.2.3. Ateş böceği algoritması (AB)

Diğer bir sürü tabanlı algoritma olan FA, Xin-She Yang tarafından 2008 yılında geliştirilmiştir. Bu algoritma aşt böceklerinin davranışlarından esinlenilmiştir (Yang,

2008). Bu algoritma üç kural içerir. Birinci kural, bütün böcekler tek cinsiyetlidirler ve çok fazla ışık saçabilirler. İkinci kural, ateş böceklerinin çekiciliği ve hareketi ışıklarına bağlıdır ve ışıkları iki komşu arası mesafe ile orantılıdır. Eğer bir tane birey varsa bu birey rasgele uçar. Üçüncü kural, ışık yoğunluğu amaç fonksiyonu ile tanımlanır (Yang, 2008). Burada ışık yoğunluğundaki değişim algoritma için önemlidir.  $I(s)$  ile ifade edilen ışık şiddeti amaç fonksiyonu ile orantılıdır ( $I(s) \propto f(s)$ ). Bir bireyin ışığı aşağıdaki şekilde değişir.

$$I(r) = I_0 e^{-\gamma r^2} \quad (5.10)$$

Burada,  $I_0$  kaynağın yoğunluğu,  $\gamma$  ışığı yakalama sabiti ve  $r$  iki birey arası mesafedir. İlave olarak belirtmek gerekirse bir böceğin çekiciliği  $\beta_0$ ,  $I_0$  ile benzerdir. Ayrıca  $r_{ij} = \|x_i - x_j\|$  ile hesaplanır.

Bir ateş böceğinin bir diğerine doğru olan hareketi:

$$x_i^{k+1} = x_i^k + \beta_0 e^{-\gamma r^2} (x_i^k - x_j^k) + \alpha^k \left( R - \frac{1}{2} \right) \quad (5.11)$$

burada,  $\alpha$  rasgelelik parametresi, ve  $R$  ise ölçekleme değeridir ve  $[0,1]$  aralığında rasgele seçilir.

#### 5.2.4. Koatik ateş böceği (KAB)

Bu çalışmada kullanılan CFA yöntemi Yapıcı ve Çetinkaya tarafından önerilmiştir (2016). Bu yöntemde basit FA metodu kaotik yapı ile geliştirilmiştir. Kaos yapısı belirlenimci bir sistemdir. Bu yapı, başlangıç şartlarına ve parametrelerine karşı oldukça hassastır. Ayrıca doğası gereği rastgelelik ve tahmin edilemezlik bir düzen içerisindedir.

Bu yöntemde, populasyon içerisindeki herbir ateş böceğine Eşitlik 5.12'deki verilen kaos modeli uygulanmıştır. Bu işlem, her iterasyonda yapılmaktadır. Bu durum kaotik ateş böceği sayısına ulaşıncaya kadar devam eder.

$$x_{n+1} = 4x_n(1 - x_n) \quad (5.12)$$



Burada,  $x_n$   $n$ . kaotik değişkendir. Kaos yönteminde algoritmaların belirli bir düzen içinde olan parametreleri kaos sistemine uygulanır. Yani düzenli olan parametre rasgele bir sisteme uygulanır. Bu tezde ise,  $\beta$  değişkeni Eşitlik 5.12'deki kaos sistemine uygulanmıştır.

### 5.2.5. Genetik algoritma (GA)

GA, biyolojik gelişim ve popülasyon tabanlı bir genel arama ve optimizasyon tekniğidir. GA'lar bazı temel operatörlere sahiptir: seçim, çaprazlama ve mutasyon. Turnuva, sıralama ve uygunluk oranlı seçim literatürde yer alan seçim yöntemleridir. Çaprazlama operatörü ise, iki birey arası bazı gen olarak bilinen bit veya değişkenlerin yer değiştirmesi işlemidir ve tek nokta çaprazlama ve iki nokta çaprazlama genel olarak ele alınır. Böylece yeni nesil oluşturulur. Bu süreç, olasılık ve çaprazlama oranına göre ilerler. Son operatör mutasyondur ve burada bir gen değiştirilir. Bu şekilde yeni bir gen dizisi oluşur (Goldberg ve Holland, 1988; Saruhan, 2004).

### 5.2.6. Kartal stratejili PSO (KSPSO)

Kartal stratejisi ilk defa Yang ve ark. tarafından önerilmiştir. Bu yöntem bir algoritma değildir. Aksine, bu bir prosedürdür (Yang ve Deb, 2010; Gandomi ve ark., 2012; Yang ve ark., 2013).

KSPSO, bu çalışma kapsamında geliştirilmiştir. Bu yöntemde iki farklı metod kullanılmıştır. İlk yöntem, PSO algoritmasıdır ve yerel aramalarda kullanılmaktadır. Burada önemle belirtmek gerekirse, PSO algoritmasının yerel arama yeteneği vardır. Bu nedenle yerel aramada PSO tercih edilmiştir. İkinci yöntem ise L'evy uçuşlu veya rasgele uçuşlu bir işleyiştir ve küresel aramada kullanılmaktadır. Burada ikinci yöntem global arama uzayında etkili bir arama yapabilir. Genel olarak belirtmek gerekirse, farklı algoritmalar farklı bölümlerde kullanılabilir. Böylece, bu farklı algoritmaların avantajları birleştirilebilir (Yapıcı ve Çetinkaya, 2017).

L'evy uçuşu aşağıdaki şekilde formüle edilebilir:

$$L(s) \sim \frac{\lambda \Gamma(\lambda) \sin(\pi\lambda/2)}{\pi} \frac{1}{s^{1+\lambda}}, \quad (s \gg s_0 > 0), (1 < \lambda \leq 3) \quad (5.13)$$

Burada,  $L(s)$  uçuş fonksiyonu,  $\lambda$  bir sabit,  $\Gamma(\lambda)$  standart gama fonksiyonu,  $s$  adım sayısıdır.  $\lambda = 3$  seçilirse, parçacıkların arama uzayındaki hareketi standart Brownian hareketine dönüşür. Bu çalışmada,  $\lambda = 2$  seçilmiştir ve böylece L'evy uçuşu Cauchy dağılımına dönüşmüştür. L'evy uçuşu ile bir parçacığın hareketi ise Eşitlik 5.14'teki gibi olur.

$$x^{k+1} = x^k + \alpha L(s, \lambda)(x^k - x_g) \quad (5.14)$$

Burada,  $\alpha$  [-1,1] aralığında rasgele üretilmiş bir sayıdır ki burada çok yönlü hareketi arttırmaktadır,  $x_g$  ise küresel en iyi bireyi temsil etmektedir.

### 5.2.7. Yöntemlerin çoklu-amaç problemlerine uyarlanması

Önerilen yöntemler populasyon tabanlı olup küresel en iyiyi elde etmek için belirli parametreler ile çalışırlar. Ancak çoklu-amaç problemleri için bu yöntemler yetersizdir. Bunun nedeni, mevcut durumda problemde sadece bir tane küresel en iyi olmasıdır. Diğer taraftan çoklu-amaç problemlerinde birden fazla amaç fonksiyonu bulunmaktadır. Dahası bu yöntemler birden fazla çözümü saklayamazlar ve ayrıca herbir iterasyonda sadece bir çözüm saklayabilirler. Çoklu-amaç problemlerinde ise kullanılan yöntemler biraz değişiklik yapılmaktadır (Mostaghim ve Teich, 2003; Reyes-Sierra ve Coello, 2006; Mirjalili ve ark., 2017).

Bu çalışmada kullanılan PSO, SSA, AB, KAB ve KSPSO yöntemleri sonuçları saklayacak bir arşiv ile donatılmışlardır. Burada ne kadar çözümün saklanacağı ve saklanmayan çözümlerin nasıl eleneceği belirtilmelidir. Önerilen yöntemler için arşiv boyutu sınırlıdır. Ayrıca arşiv içerisinden elenecek dominant olmayan çözüm en az komşuluğa sahip olmalıdır. Bu komşuluk durumu,  $\vec{d} = (f^{maks} - f^{min})/box\ size$  ifadesi ile hesaplanır,  $f^{maks}$  ve  $f^{min}$  herbir amaç fonksiyonunun maksimum ve minimum değerleridir. Daha sonra komşulukları hesaplanan değerler bir rasgele  $r_c$  operatörü ile karşılaştırılır ve

en az sıralama değerine sahip olan bireyler arşivden çıkarılır. Diğer bir anlatım ile, iki bireyin dominantlığı kıyaslanır. Eğer yeni bir birey arşivdeki bir üyeyi domine ederse bu yeni birey arşive eklenir. Eğer birden fazla domine edilmiş çözüm varsa bütün bu domine edilmiş bireyler arşivden atılır ve böylece en iyi dominant olmayan çözümlerin saklanması garanti edilir. Arşivdeki bireylerin sayısı arşiv boyutundan küçük olduğunda bireyler arasından rasgele seçim yapılır ve bu durumda dominant olmayan çözümler arşivde saklanabilir. Unutulmamalıdır ki, arşiv işleyişin çıktısıdır.

Buna karşın, GA'da işleyiş biraz farklıdır (Deb ve ark., 2002). Çoklu-amaç problemleri için kullanılan GA'larda bireyler baskınlık durumlarına göre sınıflandırılırlar. Bütün bireyler her amaç için kıyaslanır ve baskın olanlar ayrı bir kümede tutulur. Ayrıca dominant olmayan küme kendi içinde yığılma uzaklık ataması ile sıralanır. En iyi dominant olmayan  $f^*$  çözümleri bir  $p^*$  kümesi oluşturur. Kalan elemanlar diğer dominant olmayan kümeden seçilir. Daha öncesinde başlangıç popülasyonu ve GA operatörleri kullanılarak  $q^*$  kümesi üretilir. Burada uygunluk, mevcut yığının önceki dominant olmayan çözümlerle kıyaslanması ile gerçekleştirilir. Ebeveyn ve çocuk bireylerden oluşan  $2N$  büyüklüğündeki  $r^*$  topluluğu dominant olmayan derecelere göre sınıflandırılır. Burada, diğer bir deyişle bu topluluk  $N$  büyüklüğündeki  $p_0^*$  kümesi ile operatörler kullanılarak oluşturulan eş büyüklükteki  $q^*$  kümesi birleştirilerek oluşturulur ve bütün popülasyon dominantlık durumuna göre sıralanır. Burada iterasyon sonunda oluşan  $p^*$  kümesi sonuçları verir.

## 6. SAYISAL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde geliştirilen ve karşılaştırma için kullanılan sezgisel algoritmalar ile çoklu-amaç problemi olarak ele alınan elektrik şebekelerine, akıllı elektrik şebekeleri (AEGS) bağlamında yenilenebilir enerji kaynakları (YEK) ile üretim gerçekleştiren birimlerin optimal boyutlandırılması ve yerleştirilmesi problemi çözülmüştür. Ayrıca önerilen yeni yöntemler klasik optimizasyon fonksiyonları ve çoklu-amaç test fonksiyonları üzerinde test edilmiş ve ölçeklenebilirlik testi gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonuçları karşılaştırmalı olarak ele alınmıştır.

Gerçek dünya çoklu-amaç problemlerinde probleme has bir Pareto ön-yüzey bulunmamaktadır. Bu nedenle yöntemlerin karşılaştırılması bağlamında elde edilen Pareto ön-yüzey eğrilerini göz önünde bulundurmamak yeterli değildir. Dahası özel bir çözüm veri seti de mevcut değildir. Bu durumda herbir yöntem birden fazla kez çalıştırılacaktır ve bulunan çözüm setleri içerisinde, her iterasyonda, rasgele bir veri seti alınarak sonuca aktarılacaktır. Ancak, lider veya global birey bulunanlarda çözüm seti bu bireyler olacaktır. En nihayetinde, ilk çalışmada elde edilen çözümler, ortalama değerler ve standart sapma değerleri verilecektir. Ayrıca ilk çalışmada elde edilen baro numaraları ve kapasiteler de listelenecektir. Diğer taraftan not etmek gerekirse, geliştirilen ve kullanılan yöntemler birden fazla çalıştırılarak geliştirilen yöntemlerin diğerleri ile benzer şekilde tutarlılığı gösterilecektir. Böylece bir algoritmanın rastgele bir sonuç üretmeyip tutarlı bir düzeyde olduğu gösterilebilecektir.

Sistemin güç akışı hesaplanırken kullanılan paket programına ilave olarak başka bir kısıt göz önünde bulundurulmamıştır.

### 6.1. Önerilen Yeni Yöntemlerin Testleri

Çalışmanın bu kısmında, geliştirilmiş yöntemlerin klasik kıyaslama fonksiyonları üzerinde testleri, ölçeklenebilirlik testleri, ve çoklu-amaç kıyaslama fonksiyonları üzerinde testleri gerçekleştirilmiştir.

### 6.1.1. Kıyaslama fonksiyon testleri

Bu bölümde, kullanılan yöntemlerin testleri için Tablo 6.1'deki fonksiyonlar kullanılmıştır (Data). Burada D fonksiyon boyutudur. İlk beş fonksiyon tek modlu, kalan test fonksiyonları ise çok modlu test fonksiyonlarıdır. Dahası literatürde, böyle bir test yapılırken yöntemlerin süre testleride verilmektedir. Bu bağlamda ele alınan yöntemlerin zaman testleride burada belirtilmiştir.

Bir algoritmanın performansını göstermek için bazı metrikler kullanılabilir. Bunlardan bazıları, yakınsama eğrisi, çözüm sürecini gösteren tarihsel grafik, farklı boyutlarda test ederek tutarlılık ölçümleri ve ortalama çözümlerdir. Bu ölçütler artırılabilir.

**Tablo 6.1.** Kıyaslama fonksiyonları.

Fonksiyon Adı	Fonksiyonun Matematiksel Modeli	Minimum	D	Uygulanabilir Sınırlar
Rosenbrock	$f_1 = \sum_{i=1}^{D-1} \{100(x_{i+1} - x_i)^2 + (x_i - 1)^2\}$	0	20	$[-30,30]^D$
Sum Squares	$f_2 = \sum_{i=1}^D ix_i^2$	0	30	$[-10,10]^D$
Schwefel 2.22	$f_3 = \sum_{i=1}^D  x_i  - \prod_{i=1}^D  x_i $	0	30	$[-10,10]^D$
Schwefel 1.2	$f_4 = \sum_{i=1}^D \left( \sum_{j=1}^i x_j \right)^2$	0	30	$[-100,100]^D$
Chung Reynolds	$f_5 = \left( \sum_{i=1}^D x_i^2 \right)^2$	0	30	$[-100,100]^D$
Goldstein Price	$f_6 = \{1 + (x_1 + x_2 + 1)^2(19 - 14x_1 + 3x_1^2 - 14x_2 + 6x_1x_2 + 3x_2^2)\} \times \{30 + (2x_1 - 3x_2)^2(18 - 32x_1 + 12x_1^2 + 48x_2 - 36x_1x_2 + 27x_2^2)\}$	3	2	$[-2,2]^D$
Six-hump Camel	$f_7 = 4x_1^2 - 2.1x_1^4 + \frac{1}{3}x_1^6 + x_1x_2 - 4x_2^2 + 4x_2^4$	-1.0316	2	$[-5,5]^D$
Hartman 3	$f_8 = -\sum_{i=1}^4 c_i \exp \left[ -\sum_j^3 a_{ij} (x_j - p_{ij})^2 \right]$	-3.8628	3	$[0,1]^D$
Shekel 5	$f_9 = -\sum_{i=1}^5 [(x - a_i)(x - a_i)^T + c_i]^{-1}$	-10.1532	4	$[0,10]^D$
Shekel 7	$f_{10} = -\sum_{i=1}^7 [(x - a_i)(x - a_i)^T + c_i]^{-1}$	-10.4028	4	$[0,10]^D$
Griewank	$f_{11} = \frac{1}{4000} \sum_{i=1}^D x_i^2 - \prod_{i=1}^D \cos \left( \frac{x_i}{\sqrt{i}} \right) + 1$	0	20	$[-600,600]^D$
Ackley	$f_{12} = -20 \exp \left\{ -0.2 \sqrt{\frac{1}{D} \sum_{i=1}^D x_i^2} \right\} - \exp \left\{ \frac{1}{D} \sum_{i=1}^D \cos(2\pi x_i) \right\} + 20 + e$	0	30	$[-32,32]^D$
Schwefel	$f_{13} = D * 418.9829 + \sum_{i=1}^D -x_i \sin(\sqrt{ x_i })$	0	30	$[-500,500]^D$

Bir algoritmanın yeteneklerini göstermek için farklı özelliklere sahip birkaç test örneği gerekebilir ve bu nedenle, bir algoritma, test fonksiyonlarının tasarımına göre farklı davranış sergileyebilir. Dahası, bu bağlamda, algoritmalar performansları açısından gözlenebilir ve diğerleriyle açıkça karşılaştırılabilir. Tek modlu test fonksiyonlarında tek bir optimum nokta vardır ve bu fonksiyonlar yakınsama testi için uygundur. Diğer taraftan çok modlu test fonksiyonları ise birden fazla yerel optimum içermektedir. Bu durumda, bir algoritma yerel optimum noktalarda sıkışabilir. Yerel optimumlardan kaçınma bir yöntem için üstünlük göstergesi olabilir.

Bu analizde eşit bir kıyaslama için, iterasyon sayısı 1000 ve popülasyon sayısı 60 olarak ayarlanmıştır. Herbir yöntem 30 defa çalıştırılmıştır. Sonuçlar Tablo 6.2’de verilmiştir.

**Tablo 6.2.** Kıyaslama fonksiyonlarının sonuçları

Fonksiyon		GA	PSO	AB	KAB	SSA	KSPSO
$f_1$	En iyi	25.5689	20.4301	17.5698	15.5698	14.6169	9.9212
	Ortalama	1.2365e+04	3.3365e+04	100.5654	20.8920	80.2215	16.5500
	Std sapma	4.0102e+04	4.4522e+04	202.5681	4.0050	110.9921	5.7892
$f_2$	En iyi	0.5449	0.0020	3.0054e-07	2.0250e-08	2.5524e-06	3.3221e-12
	Ortalama	0.7755	0.1255	0.0225	0.0455	0.6556	5.2195e-09
	Std sapma	0.1235	0.0035	0.0300	0.0254	0.9548	7.9898e-10
$f_3$	En iyi	20.0025	19.1250	0.0075	0.0883	0.0054	2.2128e-05
	Ortalama	65.5497	58.0504	0.0154	0.9548	1.1128	3.3123e-04
	Std sapma	10.9458	14.0025	0.0354	0.5665	1.5054	5.3433e-04
$f_4$	En iyi	9.9556e-06	3.0754e-06	3.2128e-13	1.2548e-12	3.2266e-16	1.0258e-06
	Ortalama	5.5661e-05	0.0018	1.8944e-09	2.8962e-08	5.5565e-13	0.0145
	Std sapma	4.4549e-06	0.0028	2.0955e-09	1.2007e-09	6.0502e-13	0.0033
$f_5$	En iyi	7.7854	5.5662e-05	9.0021e-09	3.2158e-08	3.2188e-17	1.3020e-15
	Ortalama	21.0212	1.0002e+07	8.9893e-07	7.6754e-07	6.4539e-16	4.7821e-14
	Std sapma	15.2012	3.1255e+07	8.0223e-07	9.6612e-07	4.1250e-17	5.5530e-14
$f_6$	En iyi	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000
	Ortalama	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000	3.0000
	Std sapma	5.6780e-16	9.8715e-16	6.1239e-10	1.0483e-11	1.1562e-12	5.1922e-16
$f_7$	En iyi	-1.0316	-1.0316	-1.0316	-1.0316	-1.0316	-1.0316
	Ortalama	-1.0316	-1.0316	-1.0316	-1.0316	-1.0316	-1.0316
	Std sapma	2.2688e-16	7.5468e-16	1.3429e-10	9.0236e-11	1.1565e-14	3.1255e-16
$f_8$	En iyi	-3.8628	-3.8628	-3.8628	-3.8628	-3.8628	-3.8628
	Ortalama	-3.8452	-3.8555	-3.8611	-3.8615	-3.8628	-3.8627
	Std sapma	0.0098	0.0020	4.0238e-8	4.3332e-11	3.1459e-15	8.3428e-12
$f_9$	En iyi	-10.1532	-10.1532	-10.1532	-10.1532	-10.1532	-10.1532
	Ortalama	-10.1532	-8.2650	-6.1514	-7.3698	-10.0026	-10.0956
	Std sapma	3.2422e-05	3.0256	3.8564	3.2154	0.2548	0.0652
$f_{10}$	En iyi	-10.4029	-10.4029	-10.4029	-10.4029	-10.4029	-10.4029
	Ortalama	-10.4029	-9.8325	-7.0026	-8.6554	-8.5618	-10.0295
	Std sapma	1.2978e-10	1.9024	3.8521	2.0204	3.3279	0.0885
$f_{11}$	En iyi	0.0164	4.1226e-08	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000
	Ortalama	0.2546	0.0559	0.1030	0.0656	0.0899	0.0689
	Std sapma	0.0962	0.0192	0.0821	0.0045	0.0189	0.0111
$f_{12}$	En iyi	1.0895	0.0566	0.0036	0.0021	1.3434	0.0002
	Ortalama	3.9282	20.1613	0.3978	0.1125	2.8954	0.9852
	Std sapma	0.5564	8.8854	0.2658	0.2033	0.5666	0.0055
$f_{13}$	En iyi	5.6548e+3	3.9821e+3	3.0023e+3	4.2564e+3	4.9321e+3	2.6785e+3
	Ortalama	8.9898e+3	5.6984e+3	6.0001e+3	5.9527e+3	5.0509e+3	2.9553e+3
	Std sapma	7.5821e+2	2.9021e+2	8.6590e+2	3.6541e+2	6.9015e+2	3.0108e+2

Tablo 6.2’de 30 kez çalıştırma sonrası elde edilen minimum, ortalama ve standart sapma sonuçları verilmiştir. Sonuçlarda, geliştirilen KSPSO birçok fonksiyon üzerinde daha iyi sonuçlar elde ettiği görülmektedir. KAB ise rekabetçi sonuçlar elde etmiş ve  $f_{13}$ ’de daha iyi sonuçlar bulmuştur.

Kullanılan yöntemlerin çalışma süreleri  $f_2$ ,  $f_{11}$ , ve  $f_{12}$  fonksiyonları için test edilmiştir. Çalışma süresi bir çalıştırma sonunda toplam prosedür için geçen süre saniye olarak elde edilmiştir. GA 1.665968 saniyede, 2.209429 saniyede ve 3.566201 saniyede sonuçları bulmuştur. PSO  $f_2$ ,  $f_{11}$ , ve  $f_{12}$  için sırasıyla, 1.534158 saniyede, 2.104325 saniyede ve 3.258724 saniyede sonuca ulaşmıştır. AB yöntemi,  $f_2$ ,  $f_{11}$ , ve  $f_{12}$  için sırasıyla, 13.005096 saniyede, 13.100110 saniyede ve 13.257461 saniyede sonuçları elde etmiştir. KAB yöntemi,  $f_2$ ,  $f_{11}$ , ve  $f_{12}$  için sırasıyla, 13.336713 saniye, 14.052771 saniye ve 14.563619 saniye sürelerde sonuçları bulmuştur. SSA yöntemi,  $f_2$ ,  $f_{11}$ , ve  $f_{12}$  için sırasıyla, 2.660254 saniyede, 3.955475 saniyede ve 5.042139 saniyede sonuçları bulmuştur. KSPSO,  $f_2$ ,  $f_{11}$ , ve  $f_{12}$  için sırasıyla, 4.753477 saniye, 5.835116 saniye ve 7.042555 saniye sürelerde sonuçları elde etmiştir.

Burada çift aşamalı bir yöntem olduğu için KSPSO, GA, PSO ve SSA metodlarına göre daha yavaştır. Ancak yapıları bakımından işleyişleri uzun süren AB ve KAB yöntemlerine göre daha iyi sürelerde sonuca ulaşmıştır.

### 6.1.2. Ölçeklenebilirlik testleri

Bu alt bölümde, önerilen yöntemlerin farklı boyutlarda bulduğu sonuçlar bağlamında ölçeklenebilirliği test edilmektedir. Bu amaçla,  $f_2$ ,  $f_5$ , ve  $f_{13}$  fonksiyonları seçilmiştir. Burada önerilen yöntemler PSO ve AB ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca fonksiyon boyutları sırasıyla, 10, 50 ve 100 olarak ayarlanmıştır. Sonuçlar Tablo 6.3’te verilmiştir.

Farklı boyutlarda, geliştirilen algoritmalar istikrarlı ve istatistiksel olarak tutarlı sonuçlar elde etmişlerdir. Böylece daha önceki teste elde edilen sonuçların rastgele olmadığı varsayımı kabul edilebilir. Benzer şekilde, geliştirilen KSPSO, fonksiyonların ve bu fonksiyonların değişik boyutlarındaki ölçümlerin birçoğunda iyi sonuçlar elde ederek üstünlüğünü kanıtlamaktadır. Dahası, KAB da rekabetçi sonuçlar elde ederek iyi bir performans sergilemektedir. Böylece, her iki önerilen yöntem, klasik test

fonksiyonları üzerinde başarılı olduklarını kanıtlamışlardır. Ancak fonksiyon boyutu arttıkça KSPSO algoritması küresel en iyi değere yakınsamakta zorlanmaktadır. Özellikle,  $f_{13}$  fonksiyonunda bu durum gözlemlenmektedir. Yine bu fonksiyon testinde, yüksek boyutta, KAB daha etkili olmuştur. Özellikle zamansal açıdan önem gerektiren ve yüksek boyutlu bir test sahasında bu algoritmalar kullanışsız olabilir. Ancak, şunu belirtmekte fayda var ki, düşük boyutlu problemlerde KAB yöntemi AB ve PSO yöntemlerine göre daha kullanışlı olabilir.

### 6.1.3. Çoklu-amaç kıyaslama fonksiyonları üzerindeki testleri

Çoklu-amaç kıyaslama fonksiyonları olarak zorlu dört adet test fonksiyonu kullanılmıştır (Zitzler ve ark., 2000; Mostaghim ve Teich, 2003). Bu fonksiyonların matematiksel modelleri Tablo 6.4'te gösterilmiştir. Bu fonksiyonlar ZDT olarak adlandırılmaktadır ve burada ZDT1, ZDT2, ZDT3 ve ZDT4 olarak ifade edilmiştir.

**Tablo 6.3.** Ölçeklenebilirlik testi sonuçları.

Yöntem	Fonksiyon	D	minimum	ortalama	Std sapma	
PSO	F2	10	5.3547e-27	11.5260	20.0285	
	F5		1.1125e-51	2.5698e-43	7.7733e-43	
	F13		0.0001	1001.0058	403.6954	
	F2	50	800.5605	5447.2228	3517.0021	
	F5		67.5555	304578632.2587	381278962.2244	
	F13		7478.4000	9000.0111	1385.2525	
	F2	100	18005.2587	35178.5210	9854.6605	
	F5		677021321.0001	4112014744.8541	3208075556.2136	
	F13		20124.8854	23332.2015	1540.6999	
	AB	F2	10	4.2221e-15	7.7258e-15	2.8843e-15
		F5		6.3784e-30	4.4555e-29	3.5044e-29
		F13		689.1278	11254.9980	302.0550
F2		50	0.8853	6.0006	5.4125	
F5			3.3354e-04	8.5555e-03	3.1487e-03	
F13			785.9193	8440.2521	952.8820	
F2		100	41.2244	138.0540	50.5598	
F5			2.2311	17.7239	20.0594	
F13			1520.4590	18012.6003	1601.8125	
KAB		F2	10	3.9546e-15	7.8854e-15	2.9852e-15
		F5		4.4587e-30	3.8541e-29	2.2547e-29
		F13		690.9962	13254.3587	582.9852
	F2	50	1.0023	5.8912	4.0214	
	F5		2.4578e-04	1..7421e-03	8..4571e-03	
	F13		945.5214	10458.7541	102.2578	
	F2	100	88.5429	140.5800	30.8710	
	F5		4.2587	20.1098	25.0594	
	F13		1478.7118	17952.6003	1450.1932	
	KSPSO	F2	10	4.8541e-22	60.5521	42.5422
		F5		2.5421e-30	2.5214e-29	6.0214e-29
		F13		0.0001	0.0002	0.0001
F2		50	1.2598e-05	1.2984e-04	3.2859e-04	
F5			2.0257e-07	6.6654e-06	8.0583e-06	
F13			655.6894	1002.5941	88.2565	
F2		100	0.0588	0.1458	0.2158	
F5			0.0096	0.0547	0.0752	
F13			18852.2036	21652.8200	1021.8204	



Burada karşılaştırma için literatürde kabul gören iki adet güçlü algoritma olan PSO ve SSA algoritmalarının çoklu-amaç versiyonları kullanılacaktır. Fonksiyon boyutları literatürde genel olarak verildiği gibi 30 olarak ayarlanmıştır. İterasyon sayısı ve arşiv boyutları 100 olarak belirlenmiştir. Ayrıca, nicel bir ölçüm için Nesilli Mesafe ve Aralıksal ölçümler sunulmuştur (detaylar için Mirjalili ve ark. referansına bakınız). Analiz sonuçları Tablo 6.5'te verilmiştir. Pareto ön-yüzey şekilleri ZDT fonksiyonları için sırasıyla Şekil 6.1-6.4'de verilmiştir.

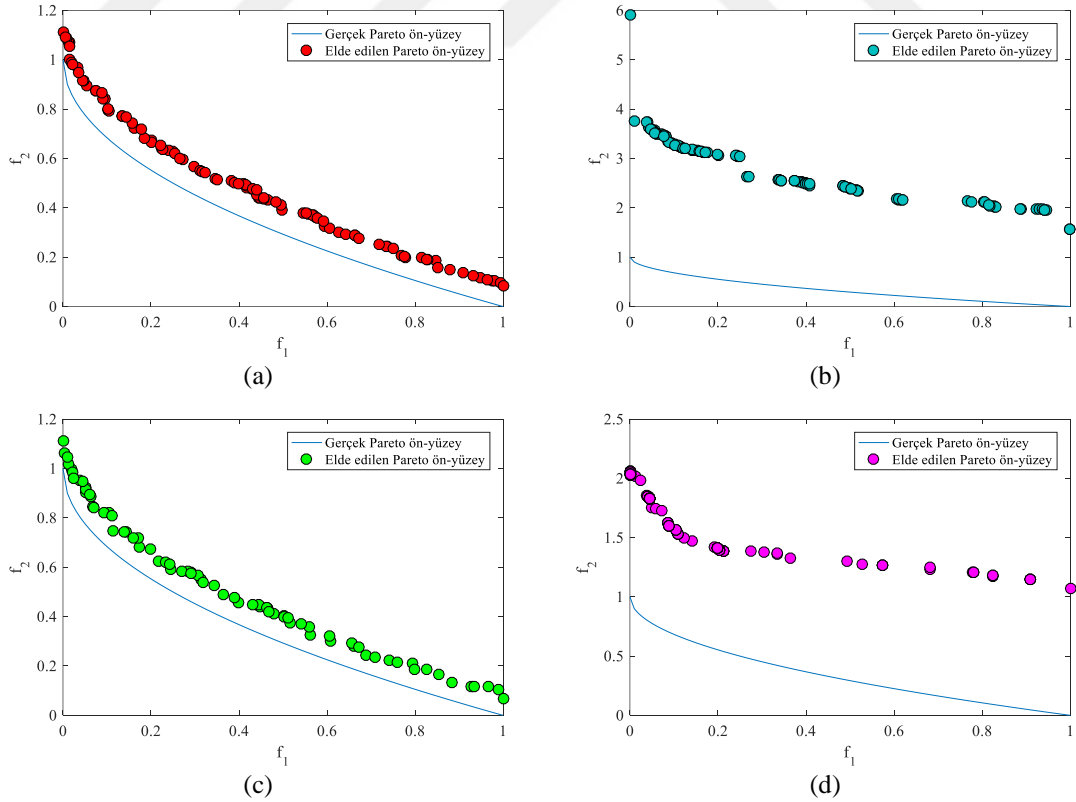
Şekillerde görülmektedir ki, KAB Pareto ön-yüzeye fazla yakınsayamamıştır. Bu değerler kapsamında MOPSO ve MOSSA yöntemlerinin gerisinde kalmıştır. Ancak, MOKSPSO doğası gereği iki yöntemden daha iyi performans sergilemiş ve yeteneklerini kanıtlamıştır. Ayrıca, Pareto ön-yüzey şekilleri değerlendirildiğinde, MOPSO algoritmasına göre, çok az da olsa iyi sonuçlar gösterilmiştir.

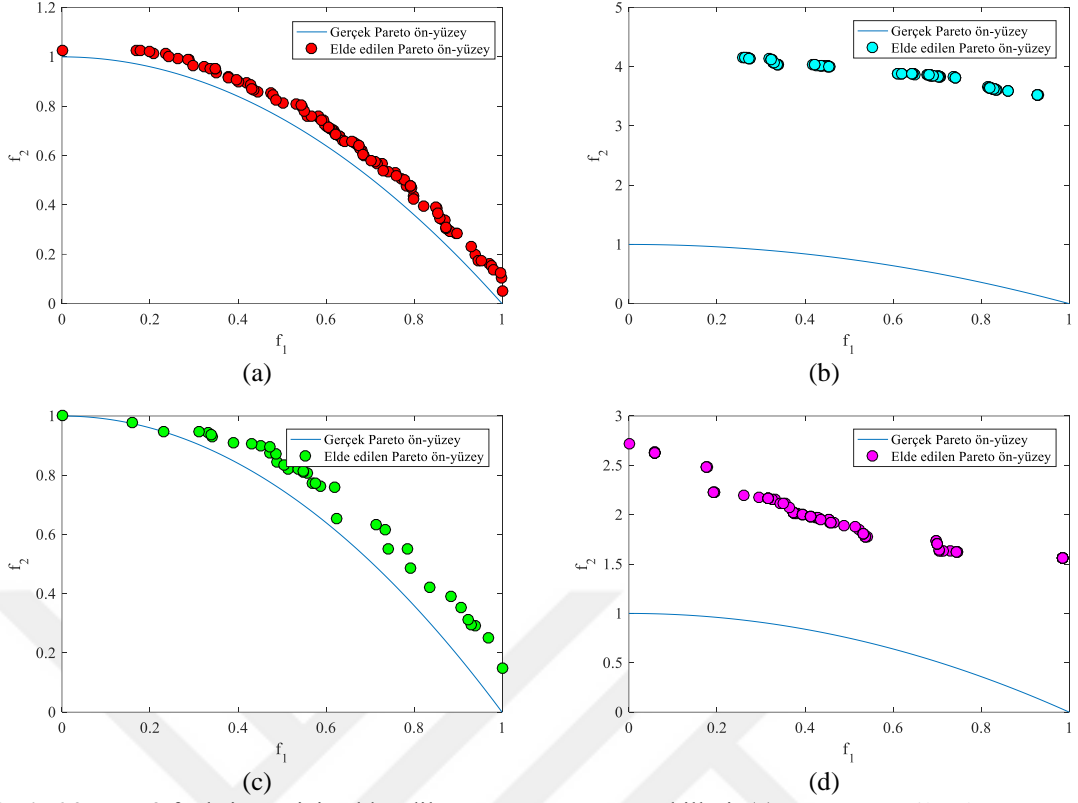
**Tablo 6.4.** Çoklu-amaç kıyaslama fonksiyonlarının matematiksel modelleri.

Fonksiyon	Matematiksel Model
ZDT1	Minimize $f_1(x) = x_1$ Minimize $f_2(x) = g(x)h(f_1(x), g(x))$ where $G(x) = 1 + \frac{9}{N-1} \sum_{i=2}^N x_i$ $h(f_1(x), G(x)) = 1 - \sqrt{\frac{f_1(x)}{g(x)}}$ $0 \leq x_i \leq 1, \quad i = 1, 2, \dots, 30$
ZDT2	Minimize $f_1(x) = x_1$ Minimize $f_2(x) = g(x)h(f_1(x), g(x))$ where $G(x) = 1 + \frac{9}{N-1} \sum_{i=2}^N x_i$ $h(f_1(x), G(x)) = 1 - \left(\frac{f_1(x)}{g(x)}\right)^2$ $0 \leq x_i \leq 1, \quad i = 1, 2, \dots, 30$
ZDT3	Minimize $f_1(x) = x_1$ Minimize $f_2(x) = g(x)h(f_1(x), g(x)) + 1$ where $G(x) = 1 + \frac{9}{N-1} \sum_{i=2}^N x_i$ $h(f_1(x), G(x)) = 1 - \sqrt{\frac{f_1(x)}{g(x)}} - \left(\frac{f_1(x)}{g(x)}\right) \sin(10\pi f_1(x))$ $0 \leq x_i \leq 1, \quad i = 1, 2, \dots, 30$
ZDT4	Minimize $f_1(x) = x_1$ Minimize $f_2(x) = x_2$ Minimize $f_3(x) = g(x)h(f_1(x), g(x))h(f_2(x), g(x))$ where $G(x) = 1 + \frac{9}{N-1} \sum_{i=3}^N x_i$ $h(f_1(x), G(x)) = 1 - \sqrt{\frac{f_1(x)}{g(x)}}, \quad h(f_2(x), G(x)) = 1 - \sqrt{\frac{f_2(x)}{g(x)}}$ $0 \leq x_i \leq 1, \quad i = 1, 2, \dots, 30$

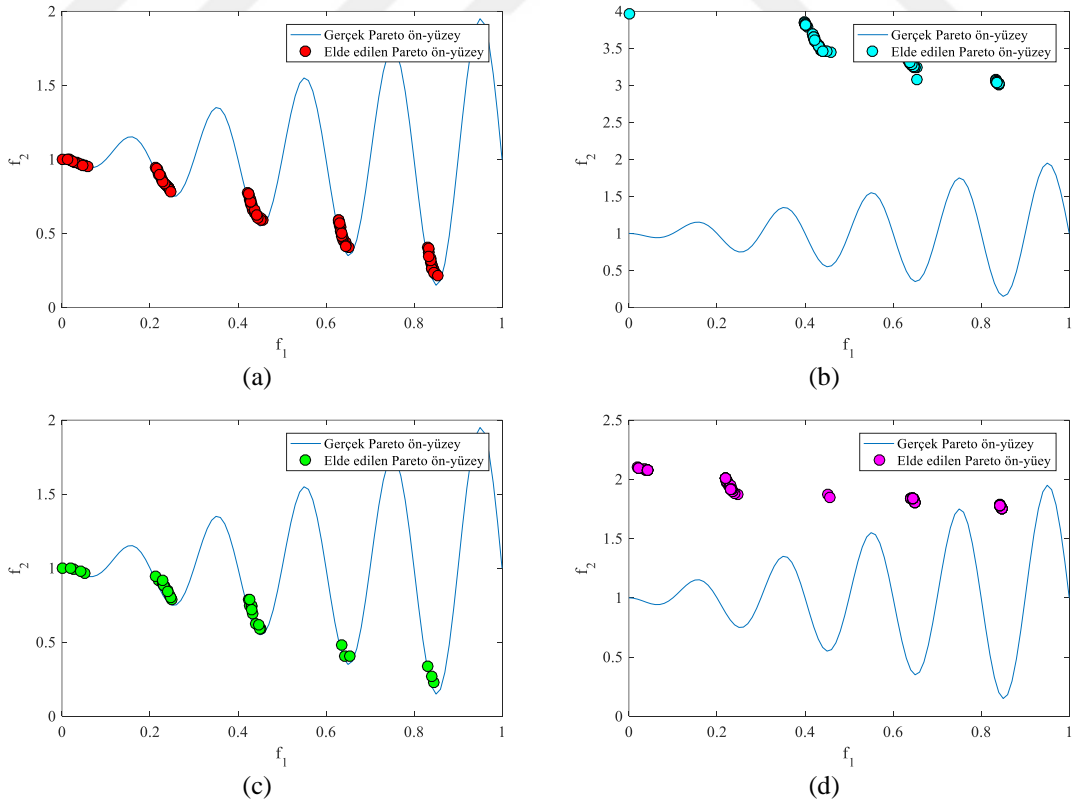
**Tablo 6.5.** Nesilli Mesafe ve Aralıksal ölçüm sonuçları.

Test		MOPSO	MOSSO	MOCFA	MOESPSO	
ZDT1	Aralıksal	min	0.0085	0.0102	0.0320	0.0081
		mak	0.0112	0.0130	0.2151	0.0116
		ort	0.0105	0.0123	0.0411	0.0103
	Nesilli Mesafe	std	0.0012	0.0013	0.0532	0.0012
		min	0.0110	0.0295	0.1567	0.0082
		mak	0.0511	0.0522	0.2208	0.0126
	Nesilli Mesafe	ort	0.0395	0.0398	0.1988	0.0108
		std	0.0052	0.0060	0.0207	0.0020
		<hr/>				
ZDT2	Aralıksal	min	0.0090	0.0114	0.0123	0.0159
		mak	0.0164	0.0178	0.0349	0.0219
		ort	0.0107	0.0122	0.0225	0.0186
	Nesilli Mesafe	std	0.0018	0.0011	0.0095	0.0030
		min	0.0100	0.0258	0.2600	0.0051
		mak	0.0395	0.0405	0.2907	0.0078
	Nesilli Mesafe	ort	0.0259	0.0301	0.2758	0.0064
		std	0.0040	0.0058	0.0142	0.0014
		<hr/>				
ZDT3	Aralıksal	min	0.0075	0.0060	0.0127	0.0044
		mak	0.0090	0.0082	0.0660	0.0065
		ort	0.0088	0.0071	0.0389	0.0055
	Nesilli Mesafe	std	2.5875e-04	6.8857e-04	0.0221	3.3546e-04
		min	0.0316	0.0388	0.2332	0.0288
		mak	0.0333	0.0433	0.2769	0.0301
	Nesilli Mesafe	ort	0.0324	0.0424	0.2593	0.0295
		std	5.0025e-04	5.9855e-04	0.0183	6.4568e-04
		<hr/>				
ZDT4	Aralıksal	min	0.0658	0.0702	0.0688	0.0645
		mak	0.0788	0.0855	0.0785	0.0701
		ort	0.0701	0.0751	0.0712	0.0688
	Nesilli Mesafe	std	0.0065	0.0071	0.0068	0.0063
		min	0.0130	0.0158	0.2766	0.0128
		mak	0.0230	0.0258	0.2890	0.0190
	Nesilli Mesafe	ort	0.0162	0.0198	0.2799	0.0161
		std	0.0033	0.0042	0.0125	0.0032

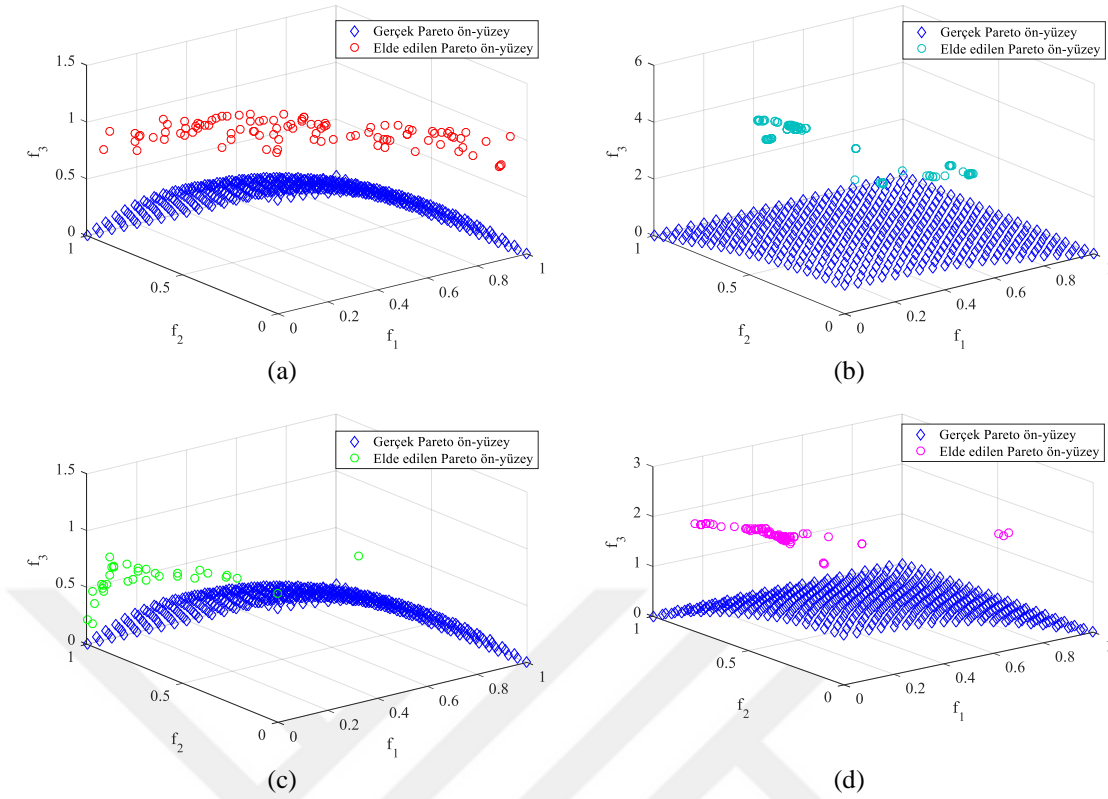
**Şekil 6.1.** ZDT1 fonksiyonu için elde edilen Pareto ön-yüzey şekilleri: (a) MOKSPSO ile, (b) MOKAB ile, (c) MOPSO ile, (d) MOSSA ile.



Şekil 6.2. ZDT2 fonksiyonu için elde edilen Pareto ön-yüzey şekilleri: (a) MOKSPSO ile, (b) MOKAB ile, (c) MOPSO ile, (d) MOSSA ile.



Şekil 6.3. ZDT3 fonksiyonu için elde edilen Pareto ön-yüzey şekilleri: (a) MOKSPSO ile, (b) MOKAB ile, (c) MOPSO ile, (d) MOSSA ile.



**Şekil 6.4.** ZDT4 fonksiyonu için elde edilen Pareto ön-yüzey şekilleri: (a) MOKSPSO ile, (b) MOKAB ile, (c) MOPSO ile, (d) MOSSA ile.

ZDT1 fonksiyonunda iç bükey yapısına rağmen etkili bir şekilde yakınsama gözlemlenmektedir. Buna karşın, ZDT2 fonksiyonunun dış bükey bir yapısı mevcuttur ki çözüm kümesini temsil eden noktalar birbirinden uzakta görünerek yakınsamanın zorlaştığını göstermektedir. ZDT3 fonksiyonun da ise parçalı bölgeler mevcuttur ve buna rağmen önerilen ESPSO yöntemi gayet başarılı bir şekilde bu bölgelere yakınsamıştır. Son olarak ZDT4 fonksiyonu 3 amaç içermektedir ki önceki sonuçlarda olduğu gibi KSPSO başarılı bir performans sergilemiş ve PSO ile SSA yöntemlerine göre daha iyi bir yakınsama gerçekleştirmiştir. Bu sonuçlar bağlamında KSPSO yönteminin çoklu-amaç problemleri için uygun olduğu söylenebilir. Öte yandan KAB yönteminin çoklu-amaç verisiyonu diğer yöntemlerin gerisinde kalmıştır. Sadece ZDT1 yönteminde MOSSA yöntemine göre daha iyi sonuç elde etmiştir. Tablo 6.5'teki verilere göre de MOKSPSO yöntemi diğer yöntemlerle göre daha başarılıdır. Ayrıca, Aralıklal ölçütte başarılı bir şekilde çözüm kümeleri ürettiği ve Nesilli Mesafe ölçütünde ise gerçek Pareto ön-yüzeyine yakınsaması daha etkili olduğu söylenebilir. Diğer yandan MOKAB'nın ise yeterli verimlilikte çözüm üretmediği ve etkili yakınsama sağlayamadığı belirtilebilir.

## 6.2. Modifiye Edilmiş IEEE 30-Baralı Test Sistemi için Sonuçlar

Burada öncelikle standart IEEE 30-baralı test sistemi, akıllı şebeke bağlamında modifiye edilmiştir. Bu yeni modifiye edilmiş test sisteminin parametreleri Ek 1’de verilmiştir. Çalışmanın bu aşamasında, kısıtlar belirlenmelidir. Bu kısıtlar belirlenirken, sistem gücü ve sistemin yapısı göz önünde bulundurulmuştur. YEK birimleri yerleştirilirken Bölge 1, Bölge 2 ve Bölge 3 dikkate alınmış ve bu birimlerin genel olarak yerleştirilebileceği baralar kısıt olarak değerlendirilmiştir. Dahası sisteme ilave edilecek toplam yenilenebilir tabanlı üretim kapasitesi %30 olarak belirlenmiştir. Problem kısıtları herbir ünite için aşağıda belirtilmiştir. Burada, YEK birimlerinin Bölge 1 ve Bölge 2 kısımlarına yerleştirilebileceği varsayılmıştır. Herbir santral üretiminin en fazla 30 MW üretim yapacağı, sistem yapısı bakımından, varsayılmıştır. Kısıtlar ile ilgili probleme ait parametre değerleri aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned} \mu &= 0.3 \\ 0,9 < V_i < 1.1 \end{aligned} \tag{6.1}$$

YEK birimlerinin yerleştirilebileceği baralar: {24, 25, 26, 27, 28, 29, 30}

\* Burada, maksimum güç akışı program içerisinde hesaplanmaktadır.

Simülasyon için literatürde sıkça kullanılan BOSGA-II, MOPSO, MOAB, MOSSA ve MOKAB yöntemleri karşılaştırma için ele alınmıştır. Bu çalışmada gerçekleştirilen simülasyon çalışmasında herbir çoklu-amaç algoritma, IEEE 30-baralı test sistemi için, zamansal olarak uzun sürdüğünden sadece 10 kez çalıştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, ilk çalıştırmada elde edilen sonuçlar, ortalama ve standart sapma değerleri olarak verilmiştir. Böylece tutarlı sonuçların elde edildiği görülebilir.

Gerçek dünya problemlerinde, probleme ait bir Pareto ön-yüzey bulunmadığı daha önce belirtilmiştir. Bu nedenle, sadece Aralıklal Örneklem ölçütü burada uygulanmıştır. Bu ölçüt ile bulunan baskın olmayan vektörlerdeki komşu vektörlerin aralık (mesafe) varyansı ölçülmüştür. Bu şekilde en son bulunan domine olmayan çözüm kümesinin uzayda ne kadar eşit ve ne kadar iyi dağıldığı gözlemlenebilmektedir. Dahası ilk çalıştırmada YEK ünitelerinin yerleştirildiği bara numarası ve bu birimlerin kapasitesi de burada verilmiştir. Burada yeni geliştirilen MOKPSO algoritmasının yüksek kapasitede bir dağılım yaptığı gözlemlenmektedir. Çalışmada kullanılan, diğer bir

geliştirilmiş algoritma olan MOKAB ise rekabetçi değerler elde etmiştir. Elde edilen sonuçlar Aralıklal ölçüt sonuçları ve 10 çalıştırma sonunda bulduğu değerler, sırasıyla, Tablo 6.6’da ve Tablo 6.7’de ve YEK santrallerinin baralara yerleştirme sonuçları Tablo 6.8’de verilmiştir. Genel olarak Tablo 6.8 ele alındığında geliştirilen yöntemler baralara daha yüksek güç kapasiteli YEK birimi yerleştirdikleri ve farklı baralara dağılım yapmışlardır. Böylece, üstünlüklerini göstermişlerdir.

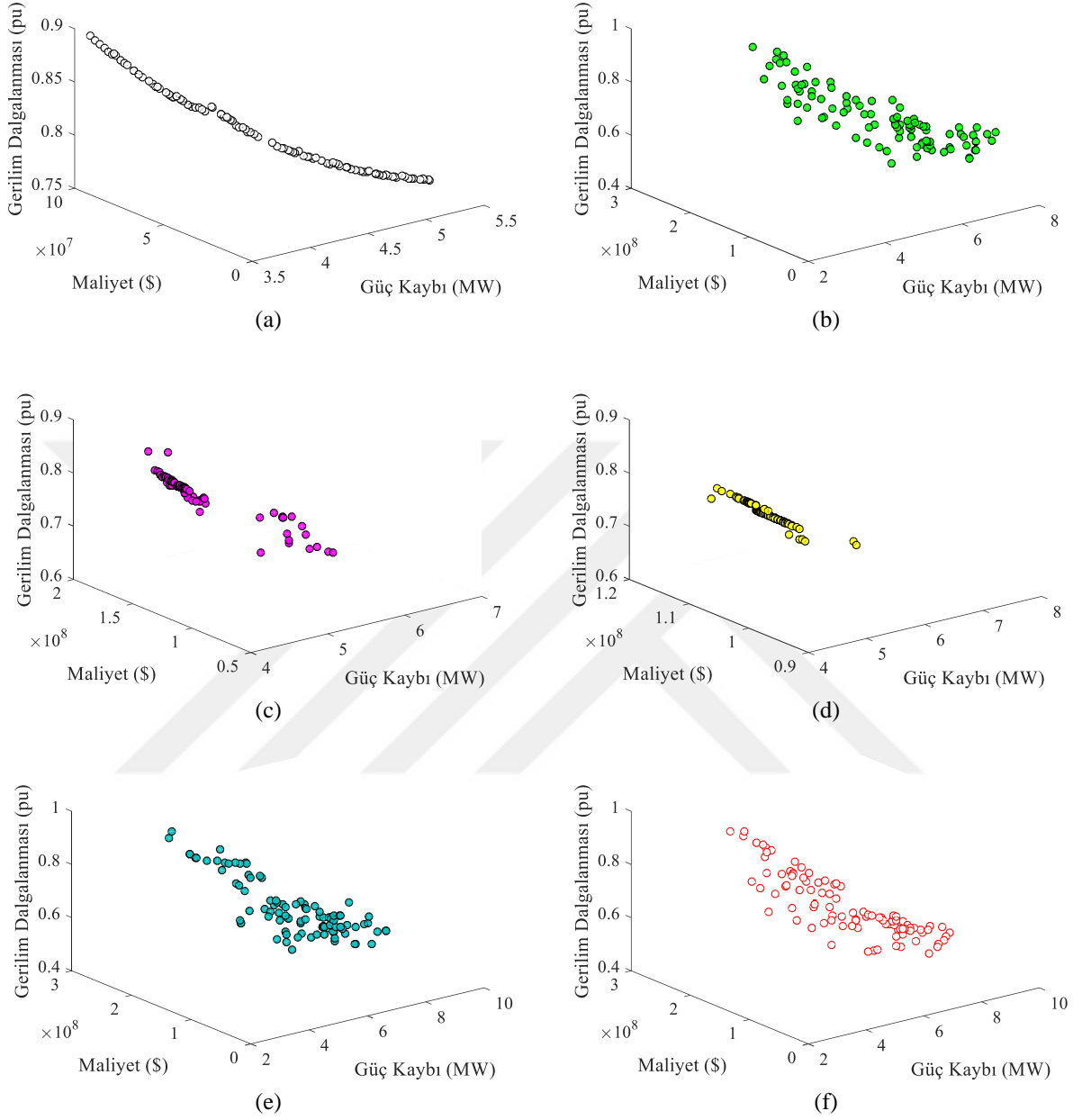
Şekil 6.5, güç kaybı, maliyet ve gerilim dalgalanması için Pareto ön-yüzeylerini içermektedir. Öte yandan, Şekil 6.6 ise güç kaybı, maliyet ve emisyon için Pareto ön-yüzeylerini göstermektedir. Şekil 6.7’de güç kaybı, gerilim dalgalanması ve emisyon için Pareto ön-yüzeyini göstermektedir. Son olarak Şekil 6.8’de maliyet, gerilim dalgalanması ve emisyon için elde edilen Pareto ön-yüzeyleri bulunmaktadır.

Burada, güç kaybı, maliyet, gerilim dalgalanması ve emisyon birimleri, sırasıyla, megawatt (MW), dolar (\$), per-unit (pu) ve saate salınan gazın ton cinsinden miktarı (ton/s) olarak verilmiştir.

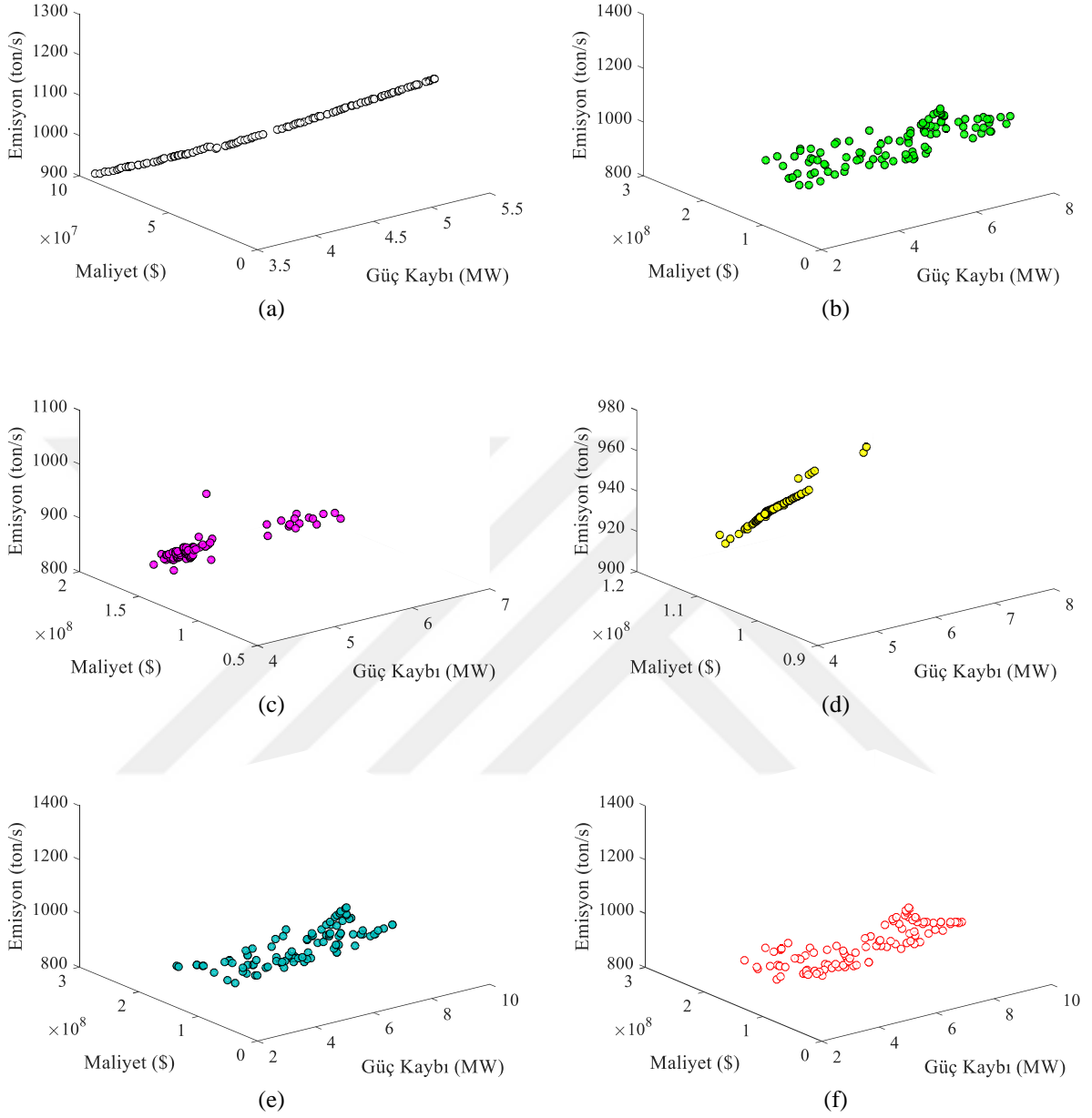
**Tablo 6.6.** Aralıklal Örnekleme ölçütü sonuçları.

Test		BOSGA-II	MOPSO	MOAB	MOSSA	MOKAB	MOKSPSO
IEEE	min	1.2954e+06	1.3045e+06	1.3952e+06	1.3580e+06	1.3063e+06	1.2172e+06
30-baralı	mak	1.5921e+06	1.5005e+06	1.6630e+06	1.6620e+06	1.6545e+06	1.4689e+06
test	ort	1.4002e+06	1.3985e+06	1.5012e+06	1.4725e+06	1.4621e+06	1.3379e+06
sistemi	std	1.0198e+05	1.1257e+05	1.1054e+05	1.1658e+05	1.0511e+05	8.1766e+04

Tablo 6.8’a göre BOSGA-II, MOPSO, MOAB ve MOSSA yüksek kapasitede bir yerleştirme yapamamışlardır. Öte yandan, burda kullanılan MOKAB da yüksek kapasiteli bir yerleştirme yapamamıştır. Diğer taraftan, MOKSPSO yüksek kapasiteli YEK birimleri yerleştirerek emisyon ve kayıp değerlerini oldukça düşürmeyi başarmış ve gerilim profilini iyileştirmiştir. Ancak yüksek kapasiteli bir YEK biriminin maliyeti fazla olacağından bu konuda daha az kapasite yerleştiren diğer yöntemler üstün gelmiştir. Ayrıca diğer yöntemler yük akışı analizi sonucunda gerilim profilini iyileştirmelerine rağmen termal ünitelerinin çalışma kapasitelerini değiştirmiş ve böylece kayıpları azaltmışlardır ki bu durumda da emisyon değerleri artmıştır. Özellikle BOSGA-II emisyon değerini çok yüksek bir değer olarak bulduğu açıktır. Bu çalışma bölümü için Pareto ön yüzey şekilleri Şekil 6.5-6.8’de verilmiştir.

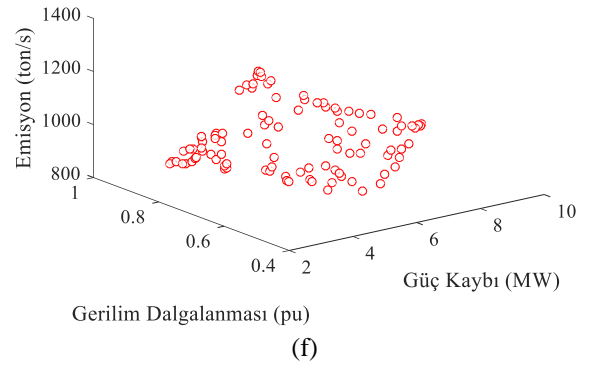
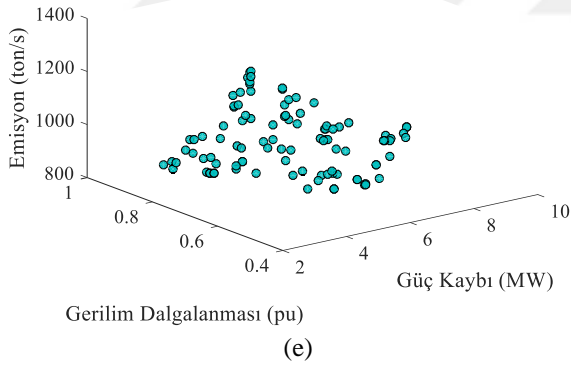
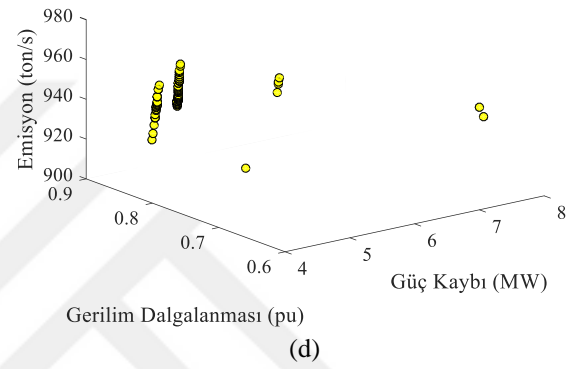
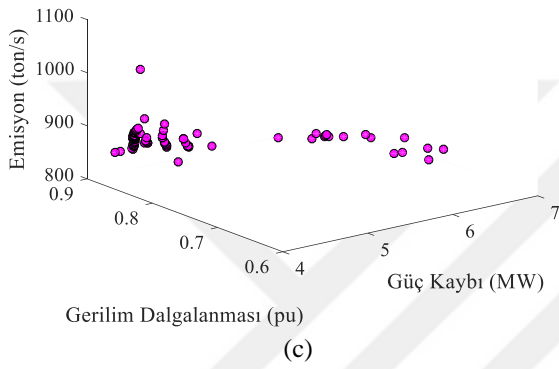
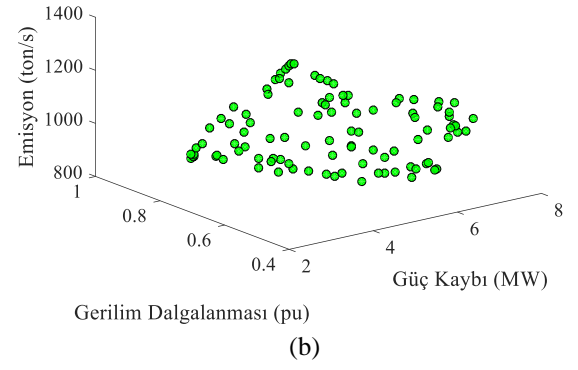
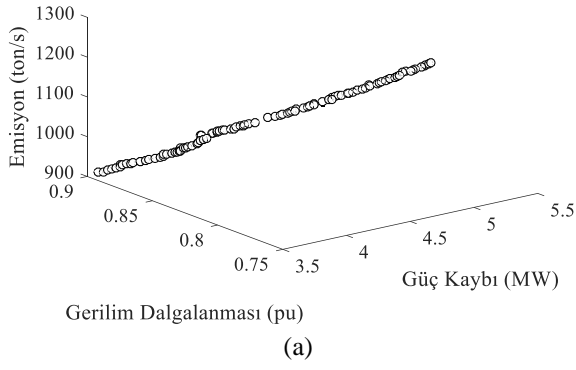


**Şekil 6.5.** IEEE 30-baralı sistemde, güç kaybı, maliyet ve gerilim dalgalanması için Pareto ön-yüzeyleri; (a) BOSGA-II ile elde edilmiş Pareto ön-yüzeyi, (b) MOPSO ile bulunmuş Pareto ön-yüzeyi, (c) MOAB ile elde edilmiş Pareto ön-yüzeyi, (d) MOSSA ile elde edilmiş Pareto ön-yüzeyi, (e) MOKAB ile bulunan Pareto ön-yüzeyi, (f) MOKPSO ile elde edilmiş Pareto ön-yüzeyi.

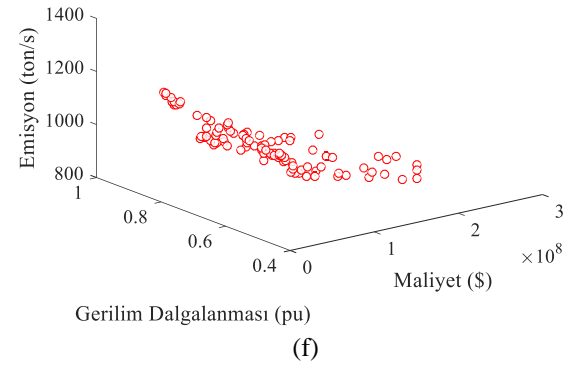
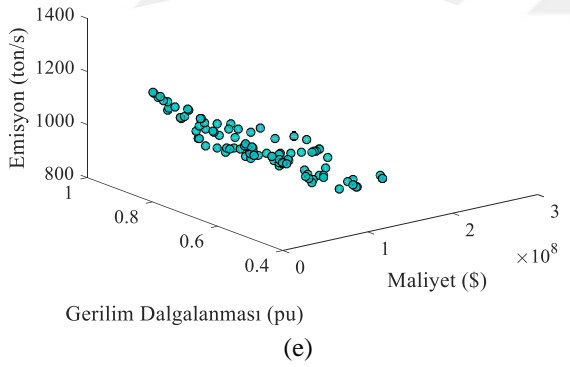
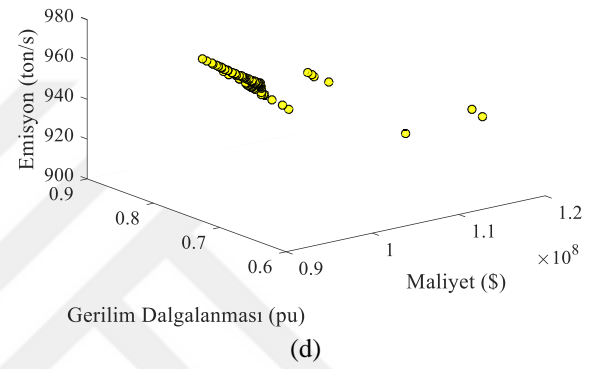
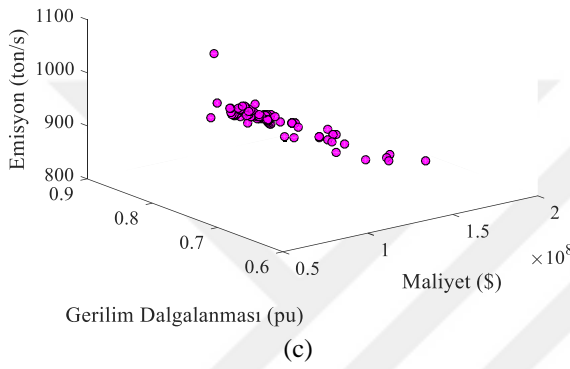
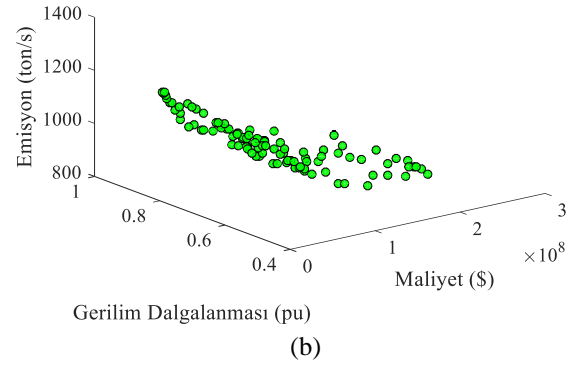
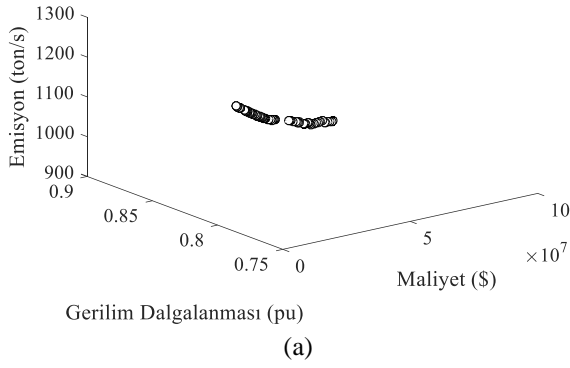


**Şekil 6.6.** IEEE 30-baralı sistemde, güç kaybı, maliyet ve emisyon için Pareto ön-yüzeyleri; (a) BOSGA-II ile elde edilmiş Pareto ön-yüzey, (b) MOPSO ile bulunmuş Pareto ön-yüzey, (c) MOAB ile elde edilmiş Pareto ön-yüzey, (d) MOSSA ile elde edilmiş Pareto ön-yüzey, (e) MOKAB ile bulunan Pareto ön-yüzey, (f) MOKPSO elde edilmiş Pareto ön-yüzeyi.





**Şekil 6.7.** IEEE 30-baralı sistemde, güç kaybı, gerilim dalgalanması ve emisyon için Pareto ön-yüzeyleri; (a) BOSGA-II ile elde edilmiş Pareto ön-yüzey, (b) MOPSO ile bulunmuş Pareto ön-yüzey, (c) MOAB ile elde edilmiş Pareto ön-yüzey, (d) MOSSA ile elde edilmiş Pareto ön-yüzey, (e) MOKAB ile bulunan Pareto ön-yüzey, (f) MOKSPSO elde edilmiş Pareto ön-yüzey



**Şekil 6.8.** IEEE 30-baralı sistemde, maliyet, gerilim dalgalanması ve emisyon için Pareto ön-yüzeyleri; (a) BOSGA-II ile elde edilmiş Pareto ön-yüzey, (b) MOPSO ile bulunmuş Pareto ön-yüzey, (c) MOAB ile elde edilmiş Pareto ön-yüzey, (d) MOSSA ile elde edilmiş Pareto ön-yüzey, (e) MOKAB ile bulunan Pareto ön-yüzey, (f) MOKSPSO elde edilmiş Pareto ön-yüzey.

**Tablo 6.7.** Kullanılan yöntemlerin 10 çalıştırma sonunda bulunduğu değerler.

Yöntem		F1	F2	F3	F4
<b>BOSGA-II</b>	İlk Çalıştırma	4.7736	6.8867e+07	0.7938	1.1875e+03
	Ortalama	4.4764	2.1830e+07	0.8115	1.1353e+03
	STD	0.4844	2.1670e+07	0.0259	77.6451
<b>MOPSO</b>	İlk Çalıştırma	5.3171	1.7797e+08	0.8640	835.5848
	Ortalama	5.4085	1.1633e+08	0.7580	914.0384
	STD	1.3662	4.5064e+07	0.1291	73.5123
<b>MOAB</b>	İlk Çalıştırma	4.1363	1.2725e+08	0.8566	888.8415
	Ortalama	5.6231	1.2154e+08	0.7287	911.6211
	STD	1.2391	2.2257e+07	0.0871	44.3755
<b>MOKAB</b>	İlk Çalıştırma	5.6197	6.0041e+07	0.6740	1.1236e+03
	Ortalama	5.0814	1.0104e+08	0.7771	975.4785
	STD	1.4367	6.5595e+07	0.1071	125.4758
<b>MOSSA</b>	İlk Çalıştırma	4.5112	1.3307e+08	0.8077	879.7392
	Ortalama	4.9910	1.0865e+08	0.7385	909.5705
	STD	0.8303	1.4882e+07	0.0998	25.8148
<b>MOKSPSO</b>	İlk Çalıştırma	4.0091	1.4976e+08	0.9815	825.9225
	Ortalama	5.0386	1.4347e+08	0.7815	873.1659
	STD	1.1648	4.7968e+07	0.1696	57.3857

**Tablo 6.8.** YEK birimlerinin ilk çalıştırmada elde edilen kapasiteleri ve bara numaraları.

Yöntem		Rüzgar	PV	Hibrit
<b>BOSGA-II</b>	Bara No	29	30	24
	Kapasite (MW)	6.6449	8.7917	2.6369
<b>MOPSO</b>	Bara No	25	30	27
	Kapasite (MW)	7.9656	11.6925	1.7775
<b>MOAB</b>	Bara No	26	27	28
	Kapasite (MW)	13.1943	15.3619	9.7496
<b>MOKAB</b>	Bara No	29	28	25
	Kapasite (MW)	6.5771	22.3026	13.7968
<b>MOSSA</b>	Bara No	28	26	27
	Kapasite (MW)	14.6000	17.7032	11.1952
<b>MOKSPSO</b>	Bara No	30	28	25
	Kapasite (MW)	20.6391	19.1181	2.2229

### 6.3. Modifiye Edilmiş IEEE 57-Baralı Test Sistemi için Sonuçlar

Simülasyonun bu aşamasında IEEE 57-baralı test sistemi modifiye edilmiştir. Bu yeni modifiye edilmiş sistemin parametreleri Ek 2'de verilmiştir. Çalışmanın bu adımında, kısıtlar belirlenerek simülasyon gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, Sistemin yapısı ve sistemin toplam yükünü ile talep gücü göz önünde bulundurulmuştur. Bu bağlamda, YEK üniteleri/santralleri yerleştirilirken bölgeler dikkate alınmıştır. Yine benzer şekilde sisteme ilave edilecek toplam yenilenebilir kaynak sistemin toplam gücünün %30'unu aşmaması bir kısıt olarak belirlenmiştir. Ayrıca, problem kısıtları aşağıda verilmiştir. Herbir baraya yerleştirilecek birimlerin toplam gücü maksimum 30

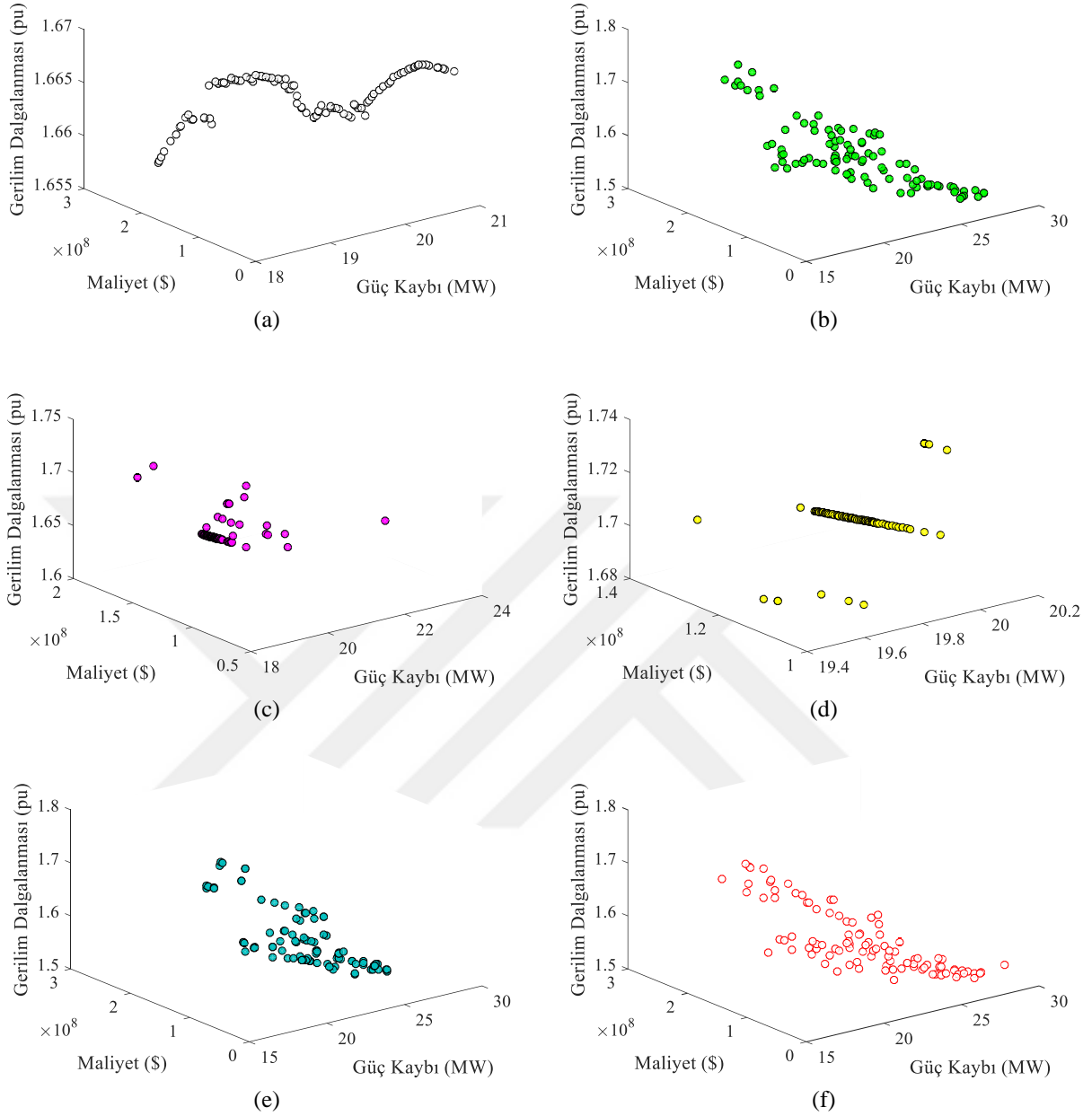
MW olacak şekilde belirlenmiştir. Burada, birimlerin yerleştirileceği baralar 11 ve 19 arası sınırlandırılmıştır.

$$\begin{aligned} \mu &= 0.3 \\ 0,9 < V_i < 1.1 \end{aligned} \quad (6.2)$$

YEK birimlerinin yerleştirilebileceği bölgeler: Bölge 1 ve Bölge 2.

Bu simülasyon için literatürde sıkça kullanılan BOSGA-II, MOPSO, MOAB, MOSSA ve MOKAB yöntemleri karşılaştırma için kullanılmıştır. Çalışmanın bu bölümünde, algoritmaların işleyişi zamansal olarak uzun sürdüğünden herbir yöntem sadece 6 kez çalıştırılmıştır. Elde edilen değerler ilk çalıştırmada elde edilen değerler, ortalama ve standart sapma olarak ele alınmıştır. Daha önce de belirtildiği gibi bu problemde gerçek Pareto ön-yüzey bulunmamaktadır. Ayrıca, Aralıklal Örnekleme ölçütü karşılaştırma amacıyla ele alınmıştır. YEK ünitelerinin kapasiteleri ve yerleştirildiği baralar ilk çalıştırmada elde edilen sonuçlar bağlamında verilmiştir. Çalışmada, geliştirilen MOKSPSO ve MOKAB ile karşılaştırma amaçlı ele alınan yöntemlerin sonuçları olan Aralıklal Örnekleme, amaç fonksiyonları için bulunan değerler ve YEK birimlerinin kapasitesi ve yerleştiği baralar, sırasıyla, Tablo 6.9, Tablo 6.10 ve Tablo 6.11’de verilmiştir. Tablo 6.11’de görülebileceği gibi, en iyi kapasite yerleştirmesini MOKSPSO elde etmiştir. Böylece, emisyon değerleri iyi bir şekilde azaltılmıştır. Ancak bu durumda da maliyet değerleri, diğer yöntemlere göre, yüksek elde edilmiştir. Diğer taraftan, Tablo 6.10’a göre, BOSGA-II algoritması maliyeti ve emisyonu düşük bulmuştur. Güç akış analizinde görülmüştür ki, bunun nedeni, yöntemin termal birimlerin üretim kapasitesini azaltmasıdır. Hatta yöntem, sisteme düşük kapasiteli YEK birimi yerleştirerek maliyeti daha az çıkarmıştır. Fakat diğer taraftan gerilim dalgalanması artmış ve hatta talep edilen enerji miktarı sınırlanmıştır.

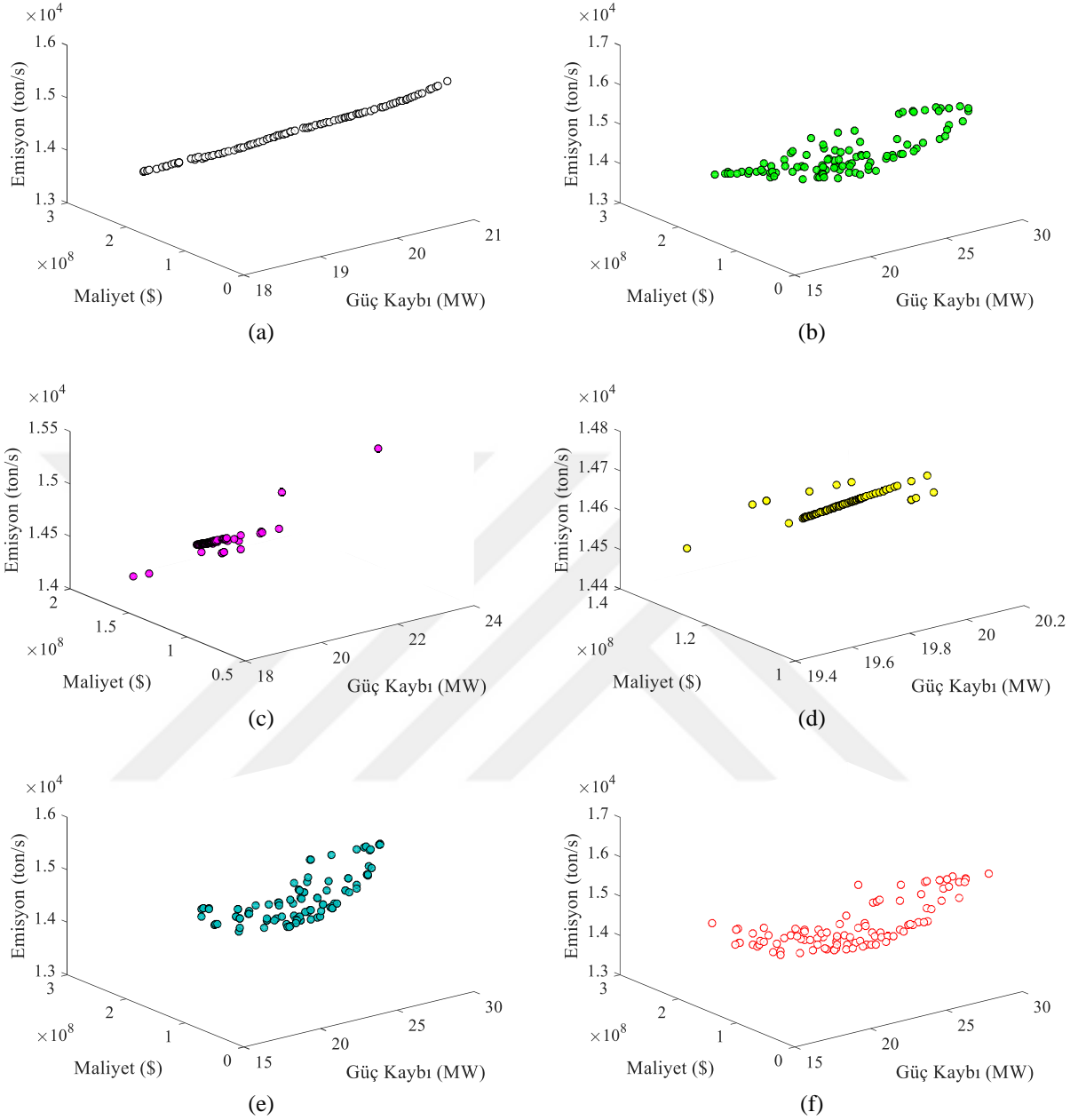
Çalışmanın bu kısmında, Pareto ön-yüzey şekilleri sırasıyla, Şekil 6.9-6.12’de verilmiştir. IEEE 30 baralı modifiye edilmiş sistemdeki analize benzer olarak, Şekil 6.9-6.12 güç kabı, maliyet, gerilim dalgalanması ve emisyon değerlerinin problemin çözüm uzayında dağılımını göstermektedir. Burada da benzer şekilde, güç kaybı, maliyet, gerilim dalgalanması ve emisyon birimleri, sırasıyla, mega watt (MW), dolar (\$), per-unit (pu) ve saate salınan gazın ton cinsinden miktarı (ton/s) olarak verilmiştir.



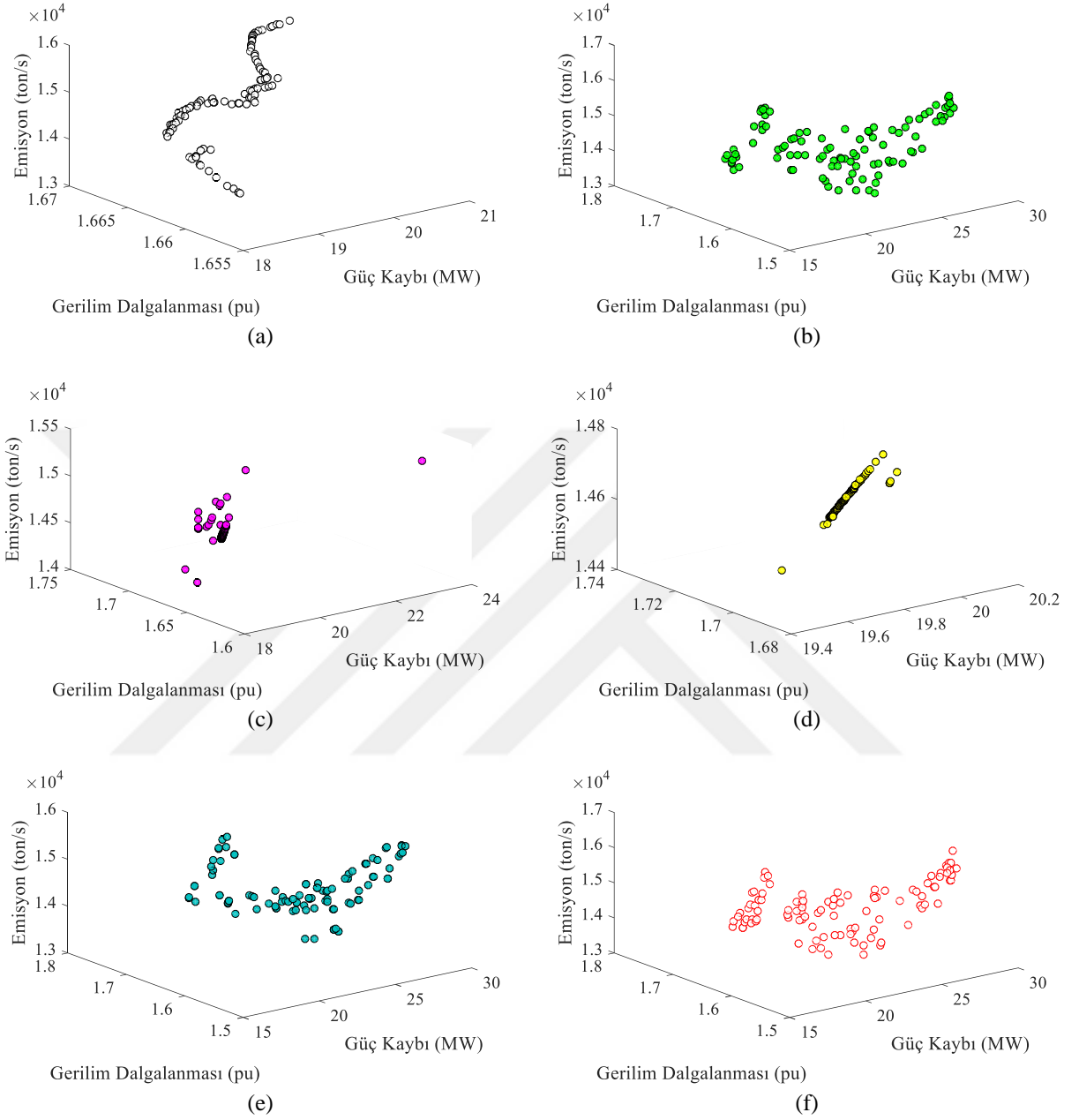
**Şekil 6.9.** IEEE 57-baralı sistemde, güç kaybı, maliyet ve gerilim dalgalanması için Pareto ön-yüzeyleri; (a) BOSGA-II ile elde edilmiş Pareto ön-yüzey, (b) MOPSO ile bulunmuş Pareto ön-yüzey, (c) MOAB ile elde edilmiş Pareto ön-yüzey, (d) MOSSA ile elde edilmiş Pareto ön-yüzey, (e) MOKAB ile bulunan Pareto ön-yüzey, (f) MOKPSO elde edilmiş Pareto ön-yüzey.

**Tablo 6.9.** Aralıklal Örnekleme ölçütü sonuçları.

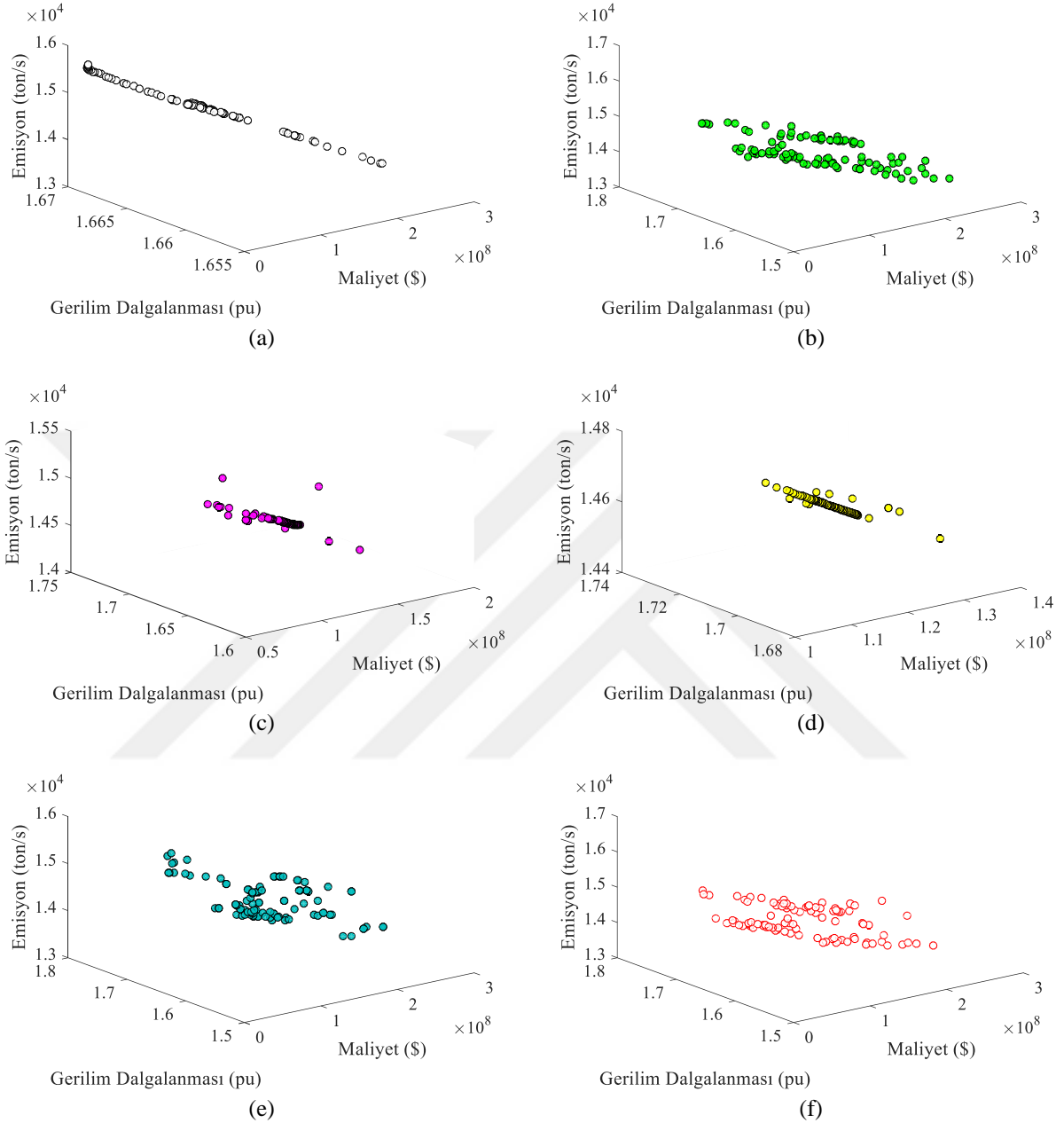
Test		BOSGA-II	MOPSO	MOAB	MOSSA	MOKAB	MOKPSO
IEEE 57-baralı test sistemi	min	1.5379e+06	1.1253e+06	7.5745e+05	7.1117e+05	1.3512e+06	1.3458e+06
	mak	3.5662e+06	2.3884e+06	6.5539e+06	2.9935e+06	4.3940e+06	2.1476e+06
	ort	2.2682e+06	1.6573e+06	3.5486e+06	2.1032e+06	2.0024e+06	1.7049e+06
	std	7.3393e+05	5.0882e+05	2.2893e+06	8.0761e+05	1.1762e+06	3.6357e+05



**Şekil 6.10.** IEEE 57-baralı sistemde, güç kaybı, maliyet ve emisyon için Pareto ön-yüzeyleri; (a) BOSGA-II ile elde edilmiş Pareto ön-yüzeyi, (b) MOPSO ile bulunmuş Pareto ön-yüzeyi, (c) MOAB ile elde edilmiş Pareto ön-yüzeyi, (d) MOSSA ile elde edilmiş Pareto ön-yüzeyi, (e) MOKAB ile bulunan Pareto ön-yüzeyi, (f) MOKSPSO elde edilmiş Pareto ön-yüzeyi.



**Şekil 6.11.** IEEE 57-baralı sistemde, güç kaybı, gerilim dalgalanması ve emisyon için Pareto ön-yüzeyleri; (a) BOSGA-II ile elde edilmiş Pareto ön-yüzeyi, (b) MOPSO ile bulunmuş Pareto ön-yüzeyi, (c) MOAB ile elde edilmiş Pareto ön-yüzeyi, (d) MOSSA ile elde edilmiş Pareto ön-yüzeyi, (e) MOKAB ile bulunan Pareto ön-yüzeyi, (f) MOKSPSO elde edilmiş Pareto ön-yüzeyi.



**Şekil 6.12.** IEEE 57-baralı sistemde, maliyet, gerilim dalgalanması ve emisyon için Pareto ön-yüzeyleri; (a) BOSGA-II ile elde edilmiş Pareto ön-yüzey, (b) MOPSO ile bulunmuş Pareto ön-yüzey, (c) MOAB ile elde edilmiş Pareto ön-yüzey, (d) MOSSA ile elde edilmiş Pareto ön-yüzey, (e) MOKAB ile bulunan Pareto ön-yüzey, (f) MOKSPSO elde edilmiş Pareto ön-yüzey.



**Tablo 6.10.** Kullanılan yöntemlerin 6 çalıştırma sonunda bulduğu değerler.

Yöntem		F1	F2	F3	F4
<b>BOSGA-II</b>	İlk Çalıştırma	18.5725	2.0044e+08	1.6638	1.3964e+04
	Ortalama	19.7067	7.9598e+07	1.6657	1.4984e+04
	STD	0.7121	7.1354e+07	0.0021	616.8305
<b>MOPSO</b>	İlk Çalıştırma	25.4555	1.3201e+08	1.5350	1.5310e+04
	Ortalama	24.8047	5.6520e+07	1.5530	1.5407e+04
	STD	2.3019	4.3972e+07	0.0279	504.7746
<b>MOAB</b>	İlk Çalıştırma	20.5325	2.9621e+07	1.6735	1.5627e+04
	Ortalama	21.7549	9.8187e+07	1.6462	1.4784e+04
	STD	1.5145	3.4382e+07	0.0558	449.3114
<b>MOKAB</b>	İlk Çalıştırma	26.3980	6.9977e+07	1.5333	1.5698e+04
	Ortalama	24.3173	9.3874e+07	1.5449	1.5106e+04
	STD	1.8056	6.3935e+07	0.0222	589.1631
<b>MOSSA</b>	İlk Çalıştırma	21.2717	9.4768e+06	1.5312	1.4660e+04
	Ortalama	23.0503	5.5279e+07	1.6026	1.5211e+04
	STD	1.7147	5.7795e+07	0.0609	309.3019
<b>MOKSPSO</b>	İlk Çalıştırma	21.7293	2.1218e+08	1.5234	1.3953e+04
	Ortalama	23.3517	1.0558e+08	1.5556	1.4895e+04
	STD	2.6892	9.6116e+07	0.0440	874.6276

**Tablo 6.11.** YEK birimlerinin ilk çalıştırmada bulunduğu kapasiteleri ve bara numaraları.

Yöntem		Rüzgar	PV	Hibrit
<b>BOSGA-II</b>	Bara No	15	15	13
	Kapasite (MW)	19.2781	29.0667	26.6101
<b>MOPSO</b>	Bara No	11	19	11
	Kapasite (MW)	18.1496	11.4209	18.8243
<b>MOAB</b>	Bara No	13	18	17
	Kapasite (MW)	1.9762	8.5511	0.7207
<b>MOKAB</b>	Bara No	11	19	11
	Kapasite (MW)	2.0752	4.6958	20.1676
<b>MOSSA</b>	Bara No	14	12	19
	Kapasite (MW)	8.9094	22.4915	19.3266
<b>MOKSPSO</b>	Bara No	13	19	14
	Kapasite (MW)	27.1581	20.9836	30.000

#### 6.4. Modifiye Edilmiş IEEE 118-Baralı Test Sistemi için Sonuçlar

Çalışmanın bu kısmında ise IEEE 118-baralı test sistemi modifiye edilmiştir. Bu yeni modifiye edilmiş sistemin parametreleri Ek 3'de verilmektedir. Öncelikle, bu test alanının kısıtları belirlenmiştir. Sistemin yapısı, sistemin toplam yükü ve talep gücü göz önünde bulundurulmuştur. Bu bağlamda, YEK üniteleri/santralleri yerleştirilirken bölgeler dikkate alınmıştır. Ancak burada bazı baralar ihmal edilmiştir. Bu baralar aşağıda belirtilmiştir. Daha önceki analizlerde olduğu gibi burada da sisteme ilave edilecek toplam yenilenebilir kaynak gücü, test sisteminin toplam gücünün %50'sini aşmamalıdır ve böylece bu durum bir kısıt olarak belirlenmiştir. Ayrıca, problem kısıtları aşağıda verilmiştir. Her bir baraya yerleştirilecek YEK gruplarının toplam gücü

şebekenin kapasitesi nedeniyle maksimum 50 MW olacak şekilde varsayılmıştır. Burada, birimlerin yerleştirileceği baralar 33-53 arası sınırlandırılmıştır. Ancak, 34, 36, 40, 42, 46 ve 49 numaralı baralara YEK grupları yerleştirilmeyecektir. Bu durum analizi biraz daha zorlamaktadır.

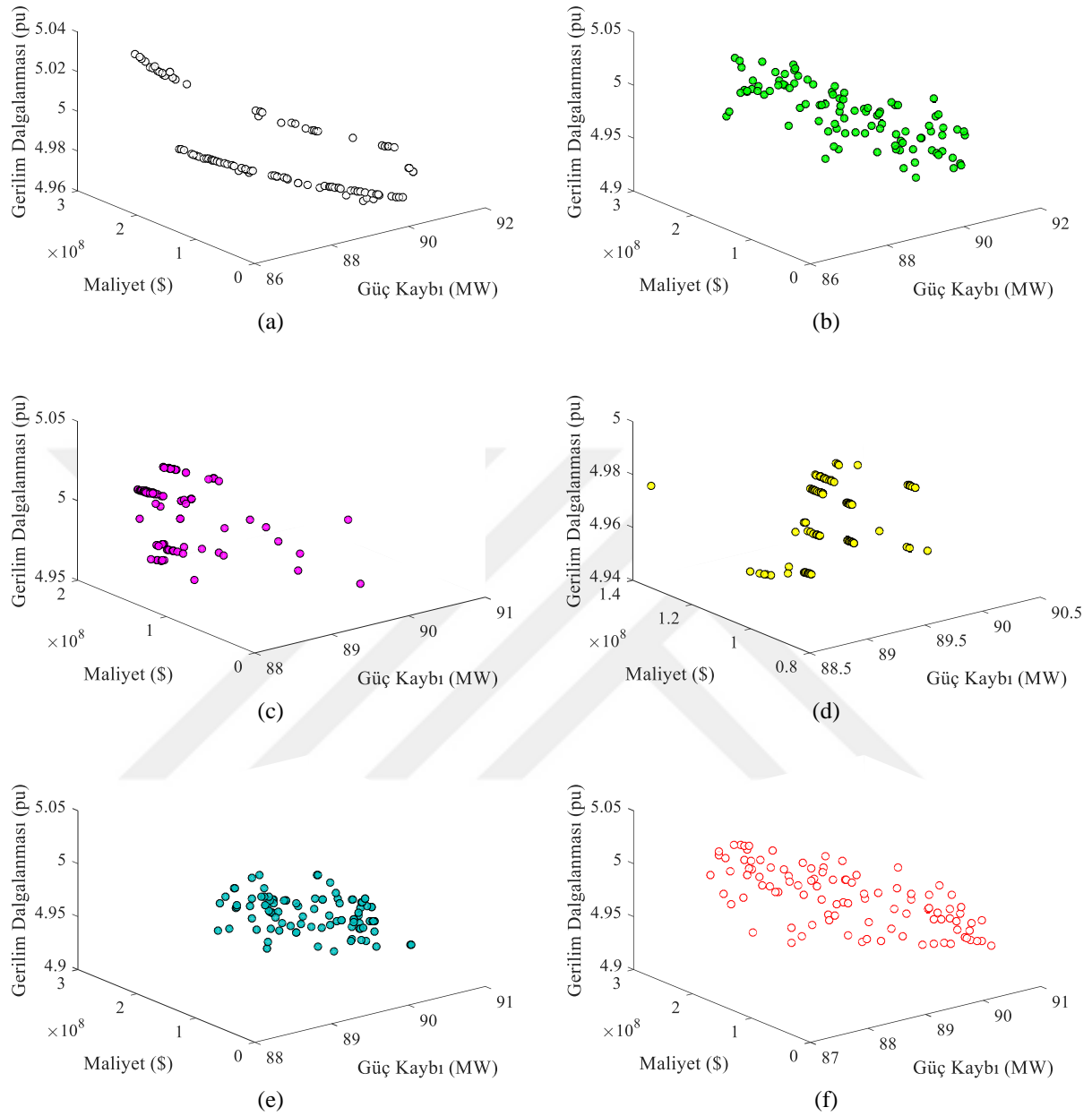
$$\mu = 0.3$$

$$0,9 < V_i < 1.1 \quad (6.3)$$

YEK birimlerinin yerleştirilebileceği bölgeler: Bölge 1.

Bu alt bölümdeki simülasyonda da benzer şekilde literatürde kullanılan BOSGA-II, MOPSO, MOAB, MOSSA ve MOKAB yöntemleri karşılaştırma için ele alınmıştır. Önerilen algoritmalar zamansal olarak diğer iki analizden biraz daha uzun sürdüğünden herbir yöntem sadece 5 kez çalıştırılmıştır. Elde edilen değerler ilk çalıştırmada elde edilen değerler, ortalama ve standart sapma olarak ele alınmıştır. Ayrıca bu gerçek dünya mühendislik probleminde de gerçek bir Pareto ön-yüzey bulunmamaktadır. Dahası, Aralıklal Örneklem ölçütü karşılaştırma amacıyla ele alınmıştır. YEK ünitelerinin kapasiteleri ve yerleştirildiği baralar ilk çalıştırmada elde edilen sonuçlar bağlamında verilmiştir. Daha önce de belirtildiği gibi birden fazla çalıştırma, bir yöntemin rastgele bir değer mi ürettiğini ya da tutarlı sonuçlar mı elde ettiğini kanıtlamaktadır. Çalışmada, geliştirilen MOKSPSO ve MOKAB ile karşılaştırma amaçlı ele alınan yöntemlerin sonuçları olan Aralıklal Örneklem, amaç fonksiyonları için bulunan değerler ve YEK birimlerinin kapasitesi ve yerleştirildiği baralar, sırasıyla, Tablo 6.12, Tablo 6.13 ve Tablo 6.14'de verilmiştir. Tablo 6.14'de görülmektedir, en yüksek kapasite yerleştirmesini MOKSPSO elde etmiştir. Böylece, emisyon değeri azalmıştır. Ancak, kurulum maliyetleri ise artmıştır. Diğer geliştirilmiş olan yöntem, MOKAB, bu simülasyonda diğer yöntemlere göre daha yüksek kapasiteli bir güç yerleştirmesi sağlamıştır.

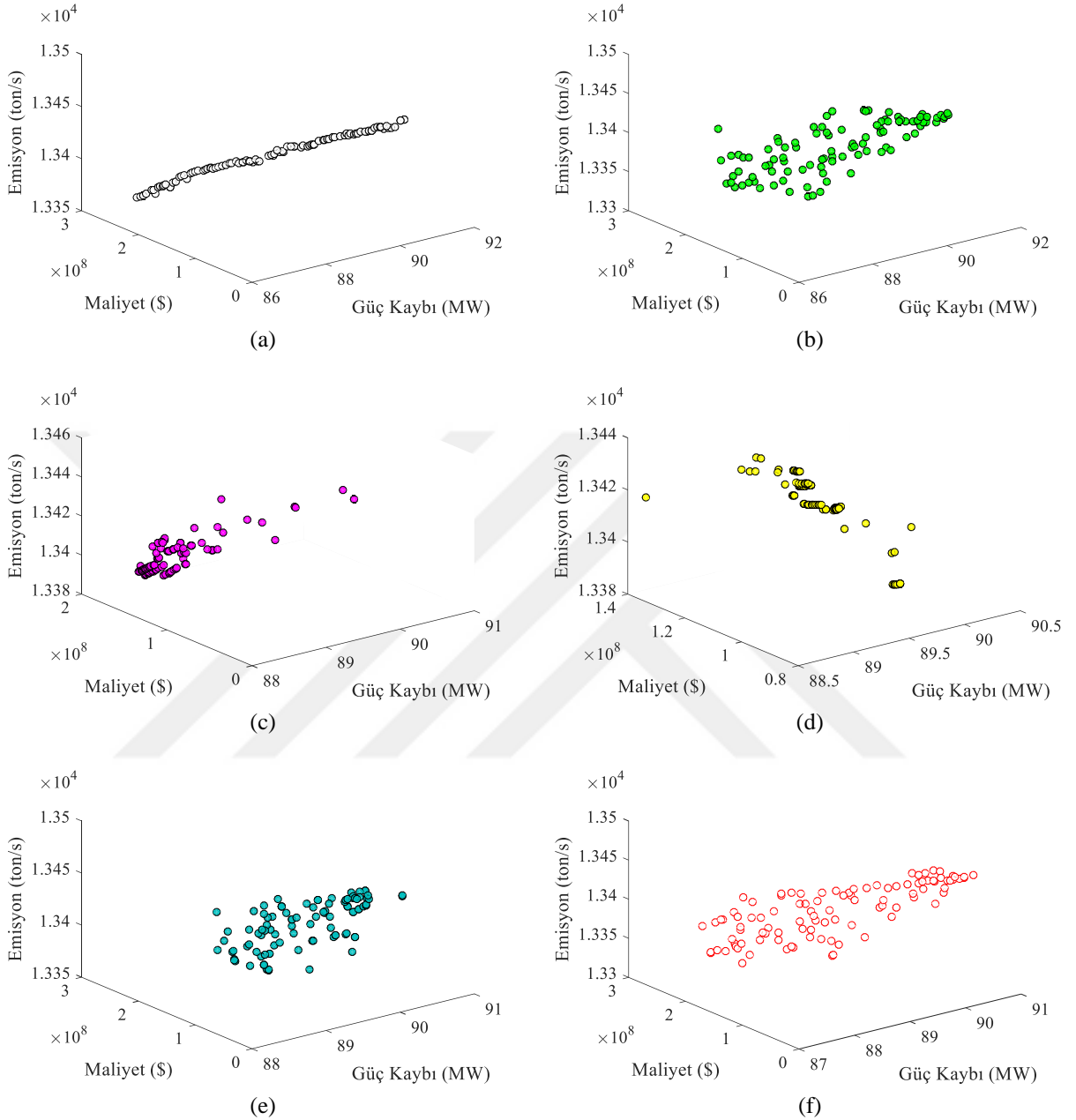
Pareto ön-yüzey şekilleri sırasıyla, Şekil 6.13-6.16'da verilmiştir. Önceki analizlerde olduğu gibi şekiller güç kabı, maliyet, gerilim dalgalanması ve emisyon değerlerinin problemin çözüm uzayında dağılımını göstermektedir. Burada da güç kaybı, maliyet, gerilim dalgalanması ve emisyon birimleri, sırasıyla, mega watt (MW), dolar (\$), per-unit (pu) ve bir saatte salınan gazın ton cinsinden miktarı (ton/s) olarak verilmiştir.



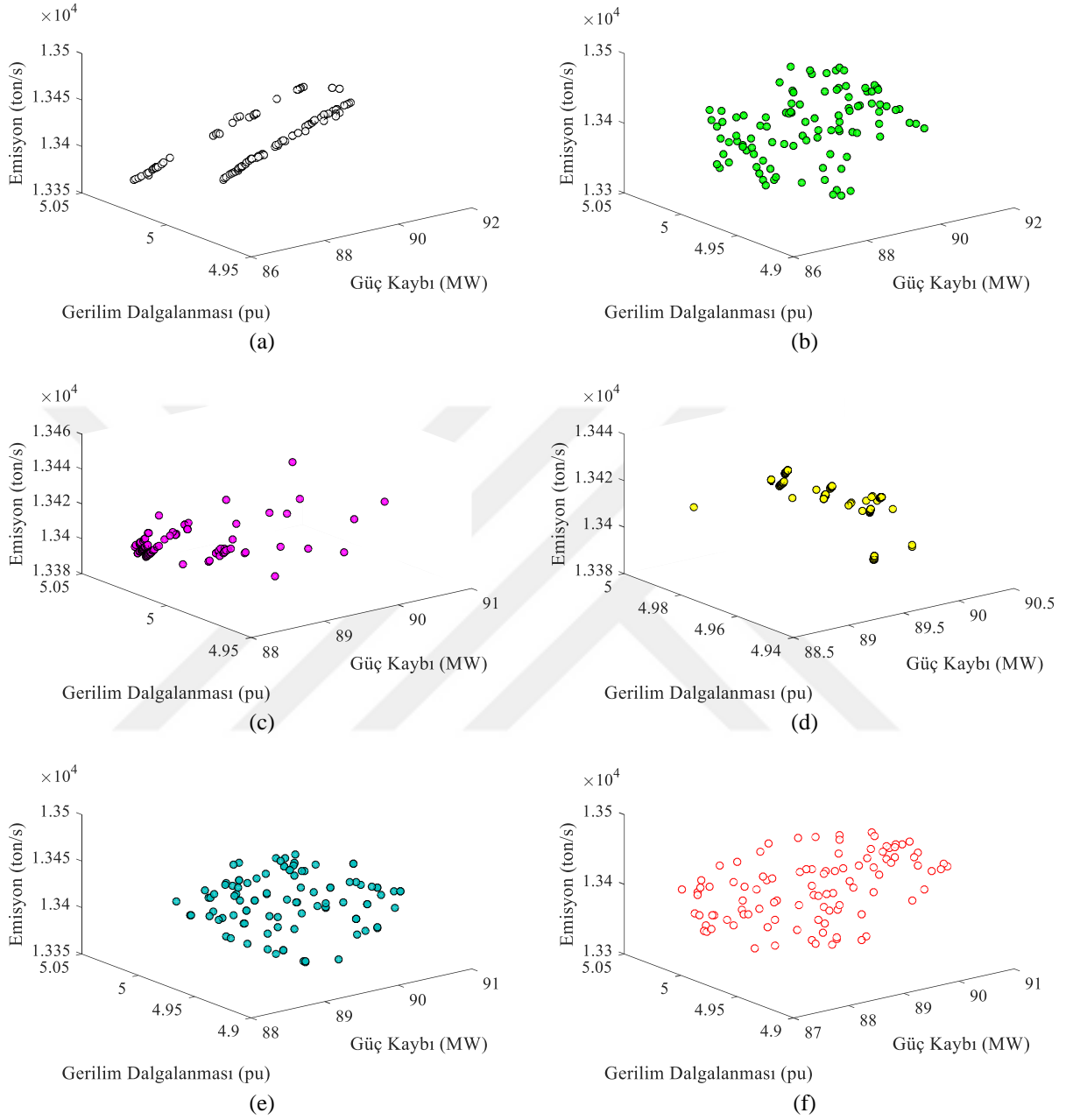
**Şekil 6.13.** IEEE 118-baralı sistemde, güç kaybı, maliyet ve gerilim dalgalanması için Pareto ön-yüzeyleri; (a) BOSGA-II ile elde edilmiş Pareto ön-yüzey, (b) MOPSO ile bulunmuş Pareto ön-yüzey, (c) MOAB ile elde edilmiş Pareto ön-yüzey, (d) MOSSA ile elde edilmiş Pareto ön-yüzey, (e) MOKAB ile bulunan Pareto ön-yüzey, (f) MOKSPSO elde edilmiş Pareto ön-yüzey.

**Tablo 6.12.** Aralıklal Örnekleme ölçütü sonuçları.

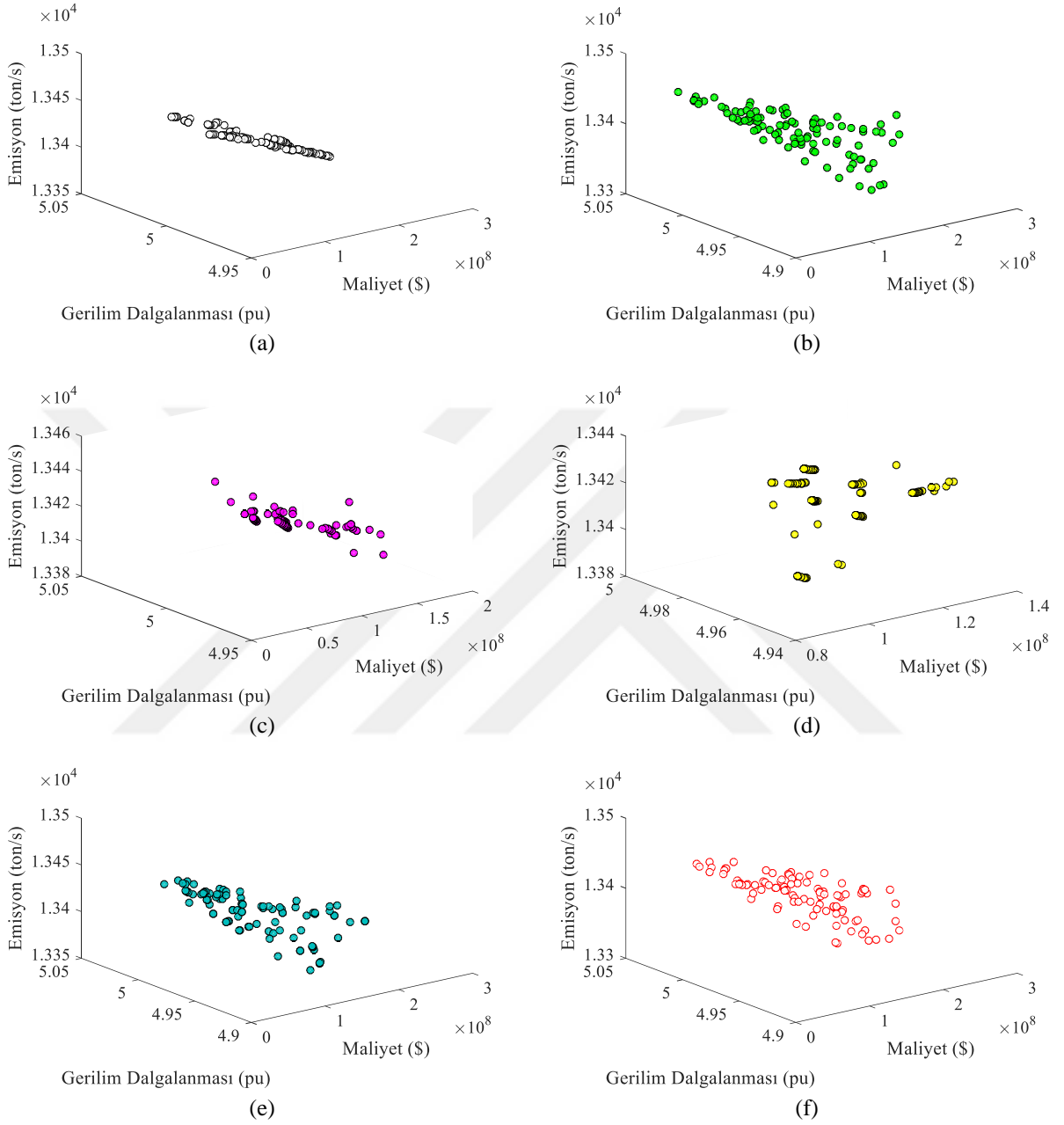
Test			BOSGA-II	MOPSO	MOFA	MOSSA	MOCFA	MOESPSO
IEEE 118-baralı test sistemi	Aralıklal	min	1.2235e+06	1.2099e+06	1.6779e+06	3.6281e+06	1.1099e+06	1.2056e+06
		mak	1.5688e+06	4.3654e+06	4.2067e+06	3.8627e+06	2.8365e+06	1.5620e+06
		ort	1.3455e+06	2.2357e+06	2.5350e+06	3.6943e+06	2.0265e+06	1.3584e+06
		std	1.5267e+05	1.4552e+06	1.1509e+06	1.1316e+05	7.9627e+05	1.5328e+05



**Şekil 6.14.** IEEE 118-baralı sistemde, güç kaybı, maliyet ve emisyon için Pareto ön-yüzeyleri; (a) BOSGA-II ile elde edilmiş Pareto ön-yüzey, (b) MOPSO ile bulunmuş Pareto ön-yüzey, (c) MOAB ile elde edilmiş Pareto ön-yüzey, (d) MOSSA ile elde edilmiş Pareto ön-yüzey, (e) MOKAB ile bulunan Pareto ön-yüzey, (f) MOKSPSO elde edilmiş Pareto ön-yüzey.



**Şekil 6.15.** IEEE 118-baralı sistemde, güç kaybı, gerilim dalgalanması ve emisyon için Pareto ön-yüzeyleri; (a) BOSGA-II ile elde edilmiş Pareto ön-yüzey, (b) MOPSO ile bulunmuş Pareto ön-yüzey, (c) MOAB ile elde edilmiş Pareto ön-yüzey, (d) MOSSA ile elde edilmiş Pareto ön-yüzey, (e) MOKAB ile bulunan Pareto ön-yüzey, (f) MOKSPSO elde edilmiş Pareto ön-yüzey.



**Şekil 6.16.** IEEE 118-baralı sistemde, maliyet, gerilim dalgalanması ve emisyon için Pareto ön-yüzeyleri; (a) BOSGA-II ile elde edilmiş Pareto ön-yüzey, (b) MOPSO ile bulunmuş Pareto ön-yüzey, (c) MOAB ile elde edilmiş Pareto ön-yüzey, (d) MOSSA ile elde edilmiş Pareto ön-yüzey, (e) MOKAB ile bulunan Pareto ön-yüzey, (f) MOKSPSO elde edilmiş Pareto ön-yüzey.

**Tablo 6.13.** Kullanılan yöntemlerin 5 çalıştırma sonunda bulduğu değerler.

Yöntem		F1	F2	F3	F4
<b>BOSGA-II</b>	İlk Çalıştırma	87.0763	1.9509e+08	5.0206	13396.1300
	Ortalama	87.9790	1.2578e+08	5.0045	13420.0275
	STD	1.1276	8.6594e+07	0.0217	31.3594
<b>MOPSO</b>	İlk Çalıştırma	88.1857	1.8206e+08	4.9845	13380.2882
	Ortalama	88.4186	1.7410e+08	4.9900	13372.8646
	STD	0.2219	3.8400e+07	0.0121	15.6639
<b>MOAB</b>	İlk Çalıştırma	89.2932	7.8928e+07	4.9872	13.440.5317
	Ortalama	88.9352	9.5847e+07	5.7443	13446.7606
	STD	0.6386	1.6566e+07	1.2557	38.3205
<b>MOKAB</b>	İlk Çalıştırma	88.9388	2.2590e+08	4.9655	13337.7067
	Ortalama	88.3780	1.7934e+08	4.9930	13384.7054
	STD	0.7524	7.3124e+07	0.0206	41.8390
<b>MOSSA</b>	İlk Çalıştırma	89.6599	1.5289e+08	4.9652	13413.7566
	Ortalama	89.3539	1.3073e+08	4.9644	13425.0089
	STD	0.4175	2.8069e+07	0.0273	8.4584
<b>MOKSPSO</b>	İlk Çalıştırma	88.3985	2.4375e+08	4.9906	13291.2341
	Ortalama	88.1633	2.3476e+08	5.0050	13319.0507
	STD	0.2008	1.1633e+07	0.0182	24.0433

**Tablo 6.14.** YEK birimlerinin ilk çalıştırmada elde edilen kapasiteleri ve bara numaraları.

Yöntem		Rüzgar	PV	Hibrit
<b>BOSGA-II</b>	Bara No	52	43	45
	Kapasite (MW)	27.4366	14.2739	29.6853
<b>MOPSO</b>	Bara No	53	44	33
	Kapasite (MW)	21.1586	15.0672	30.0000
<b>MOFA</b>	Bara No	42	44	39
	Kapasite (MW)	11.8682	9.0332	7.8684
<b>MOKAB</b>	Bara No	35	41	33
	Kapasite (MW)	30.0000	26.9084	26.1211
<b>MOSSA</b>	Bara No	41	39	48
	Kapasite (MW)	18.7155	13.5014	24.2234
<b>MOKSPSO</b>	Bara No	37	43	33
	Kapasite (MW)	30.0000	30.0000	30.0000

## 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 7.1. Sonuçlar

Bu çalışmanın birinci bölümünde, EGS'lere ve AEGS'lere YEK birimlerinin entegre edilmesinin önemi belirtilmiştir. Ancak YEK'lerin kesintili ve rastgele üretim yapmaları nedeniyle bu entegrasyondaki zorluklar vurgulanmış ve uygulama aşamaları açıklanmıştır. Ayrıca algoritmalar kullanılarak YEK ünitelerinin şebekelere entegrasyonu açıklanmış ve böylece bazı zorlukların aşılabileceği belirtilmiştir. Bu bağlamda, güvenilirliğin artması ve sistem performansının iyileştirilmesi ile beraber sürekli ve yenilenebilir enerjinin sağlanarak tüketicilere ulaştırılması sağlanmaktadır. Çalışmanın ikinci bölümünde kapsamlı bir literatür taraması yapılmıştır. Bu alanda kullanılan bazı nümerik ve algoritmik yöntemler ele alınmış ve yapılan çalışmalara değinilmiştir. Bu tez çalışmasını üçüncü bölümünde AEGS'lerin özellikleri ve bu alanda göz önünde bulundurulmuş standartlar açıklanmıştır. Çalışmanın dördüncü bölümünde YEK'lerin teknolojileri kısaca tanıtılmış ve entegrasyon zorlukları anlatılmıştır. Diğer bölümde kullanılan sistemler ile matematiksel model tanıtılmıştır. Dahası kullanılan yöntemler açıklanmış ve çözümlenecek problem için kullanılan yöntemlerin modifikasyonları hakkında bilgi verilmiştir.

Bu tez çalışmasında, AEGS'ler ve YEK'ler genel olarak açıklanmış, YEK birimlerinin şebekelere yerleştirilmesi problemi incelenerek tanımlanmıştır. Ayrıca, problem için yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritma performansının ve tutarlılığının kanıtlanabilmesi için literatürde genel olarak kullanılan bazı yöntemler ile karşılaştırılarak ele alınmıştır.

Çalışmanın altıncı bölümünde kullanılan test şebekeleri hakkında bilgi verilmiştir. Tezde, büyük ölçekli şebekeler olan IEEE 30, 57 ve 118 baralı sistemlerin modifiye edilmiş versiyonları kullanılmıştır. Dahası, bu bölümde, literatürde genel olarak kullanılan yöntemler ile geliştirilen yöntem, bazı kıyaslama test fonksiyonları üzerinde test edilmiştir. Bu testler küresel en iyiye yakınsamasını ve yakınsama sürelerini, ölçeklenebilirlik testlerini ve çoklu-amaç test fonksiyonları üzerindeki testleri kapsamaktadır. Ayrıca, bütün yöntemler çoklu-amaç gerçek dünya problemi olan YEK birimlerinin AEGS bağlamında şebekelere yerleştirilmesi problemine de uygulanmıştır.



Geliştirilen KSPSO, başarılı ve rekabetçi sonuçlar elde ederek oldukça üstün bir performansa sahip olduğunu ve güçlü birer sezgisel yöntem olabileceğini kanıtlamıştır. Ancak her yöntem her problem için çok iyi sonuç veremez ilkesi bağlamında, yöntem bazı test fonksiyonları üzerinde iyi sonuç bulmasa da, özellikle, çoğu fonksiyonda daha üstün sonuçlar bulmuştur.

Bu tezde önerilen KSPSO yönteminin, literatürde yer alan bütün yöntemler gibi, bazı sınırları bulunmaktadır. Bu yöntem, yapısından dolayı zamansal açıdan hızlı olunması gereken problemler için verimli olmayacaktır. Bunun nedeni diğer yöntemlere göre sürecin iki aşamalı sürmesidir. Özellikle, KSPSO iki aşamalı bir yöntem olduğundan sonucu bulmada fazla zaman harcamaktadır. Ancak, yöntem, yüksek boyutlu fonksiyon testlerinde üstün bir performans göstermiş ve böylece bu alanda da uygulanabilir olduğunu kanıtlamıştır.

Önerilen yöntem, başarılı bir şekilde, AEGS bağlamında, YEK birimlerinin optimal yerleştirilmesi ve boyutlandırılması problemine uygulanmıştır. Kıyaslamada görülmektedir ki diğer yöntemler ile benzer sonuçlar üretebilmektedir. KSPSO algoritmasının uyarlanmış versiyonu MOKSPSO ise yüksek kapasiteli bir yerleşim gerçekleştirmiş ve farklı baralara dağılım sağlamıştır. Bu yönüyle geliştirilen KSPSO algoritması üstün bir performansa sahip olduğunu göstermiştir.

## 7.2. Öneriler

Çalışmada önerilen yöntem gerçekleştirilen simülasyonlarda şebeke performansını iyileştirebileceğini kanıtlamıştır. Bu durumda gerçek sistemler için sonuç üreterek bu sistemlerin verimliliğini ve performansını arttırabilir. Yöntem, simülasyonda kullanılan test sistemlerinde dört ayrı amaç fonksiyonunu başarılı bir şekilde minimize etmiştir. Böylece, gerçek bir sisteme de uygulanabilir olduğunu göstermiştir. Bu yöntem zamansal kısıtlamaların olmadığı problemlerde iyi sonuçlar elde edebilir. Ancak unutulmamalıdır ki, her yöntem her alanda ve her problemde iyi sonuç vermeyebilir.

Sezgisel yöntemlerin kullanım alanı oldukça yaygındır. Özellikle mühendislik alanında falza modifikasyona gerek duymadan problemlerin optimizasyonunda kullanılmaktadırlar. Geliştirilen algoritmalar, bu çalışmada, en iyi yerleştirme ve boyutlandırma problemine uygulanmıştır. Bu yöntemler daha birçok alanda ve

optimizasyon probleminde test edilmemişlerdir. Bu yöntemlerin farklı versiyonları da geliştirilebilir. Örneğin, binary versiyonları, başka yöntemler ile hibrit versiyonları, diğer yöntemlerin güçlü yönleri ile geliştirilmeleri vb. konular ele alınabilir. Ayrıca bu geliştirilecek yöntemler de bu alanda kullanılabilir. Ancak tekrar vurgulamak gerekirse bir yöntem her alanda veya her problemde en iyi sonuç bulmak zorunda değildir.



## KAYNAKLAR

- Ahanch, M., Asasi, M. S. ve Amiri, M. S., 2017, A Grasshopper Optimization Algorithm to solve optimal distribution system reconfiguration and distributed generation placement problem, *Knowledge-Based Engineering and Innovation (KBEI), 2017 IEEE 4th International Conference on*, 0659-0666.
- Alonso, M., Amaris, H. ve Alvarez-Ortega, C., 2012, Integration of renewable energy sources in smart grids by means of evolutionary optimization algorithms, *Expert Systems with Applications*, 39 (5), 5513-5522.
- Aman, M., Jasmon, G., Mokhlis, H. ve Bakar, A., 2012, Optimal placement and sizing of a DG based on a new power stability index and line losses, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 43 (1), 1296-1304.
- Amirkhanloo, F. ve Ghafouri, A., 2014, Optimum management and control of SMART Micro-Grid with renewable DG, *International Journal on Technical and Physical Problems of Engineering*, 6 (20), 72-78.
- Anees, A. S., 2012, Grid integration of renewable energy sources: Challenges, issues and possible solutions, *Power Electronics (IICPE), 2012 IEEE 5th India International Conference on*, 1-6.
- Ashari, M. ve Syahputra, R., 2014, Power loss reduction strategy of distribution network with distributed generator integration, *Information Technology, Computer and Electrical Engineering (ICITACEE), 2014 1st International Conference on*, 404-408.
- Bahmani-Firouzi, B. ve Azizipanah-Abarghooee, R., 2014, Optimal sizing of battery energy storage for micro-grid operation management using a new improved bat algorithm, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 56, 42-54.
- Bakos, G. C., 2002, Feasibility study of a hybrid wind/hydro power-system for low-cost electricity production, *Applied Energy*, 72 (3-4), 599-608.
- Baloğlu, U. B., 2017, Akıllı Şebekelerde Hesapsal Yöntem Uygulamaları, *Fırat Üniversitesi*, Elazığ, Türkiye, 131.
- Bayat, A., Bagheri, A. ve Noroozian, R., 2016, Optimal siting and sizing of distributed generation accompanied by reconfiguration of distribution networks for maximum loss reduction by using a new UVDA-based heuristic method, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 77, 360-371.
- Bilal, B. O., Sambou, V., Ndiaye, P., Kébé, C. ve Ndongo, M., 2010, Optimal design of a hybrid solar-wind-battery system using the minimization of the annualized cost system and the minimization of the loss of power supply probability (LPSP), *Renewable Energy*, 35 (10), 2388-2390.
- Blaabjerg, F., Teodorescu, R., Chen, Z. ve Liserre, M., 2004, Power converters and control of renewable energy systems, *Proc. 6th Int. Conf. Power Electron*, 1-20.
- Blaabjerg, F., Teodorescu, R., Liserre, M. ve Timbus, A. V., 2006, Overview of control and grid synchronization for distributed power generation systems, *IEEE Transactions on industrial electronics*, 53 (5), 1398-1409.
- Borlase, S., 2016, Smart grids: infrastructure, technology, and solutions, CRC press, p.
- Carrasco, J. M., Franquelo, L. G., Bialasiewicz, J. T., Galván, E., PortilloGuisado, R. C., Prats, M. M., León, J. I. ve Moreno-Alfonso, N., 2006, Power-electronic systems for the grid integration of renewable energy sources: A survey, *IEEE Transactions on industrial electronics*, 53 (4), 1002-1016.

- Cheng, S., Chen, M.-Y. ve Fleming, P. J., 2015, Improved multi-objective particle swarm optimization with preference strategy for optimal DG integration into the distribution system, *Neurocomputing*, 148, 23-29.
- ChithraDevi, S., Lakshminarasimman, L. ve Balamurugan, R., 2017, Stud Krill herd Algorithm for multiple DG placement and sizing in a radial distribution system, *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 20 (2), 748-759.
- Clastres, C., 2011, Smart grids: Another step towards competition, energy security and climate change objectives, *Energy Policy*, 39 (9), 5399-5408.
- Coello, C. A. C., Pulido, G. T. ve Lechuga, M. S., 2004, Handling multiple objectives with particle swarm optimization, *IEEE Transactions on evolutionary computation*, 8 (3), 256-279.
- Cunjiang, Y., Huaxun, Z. ve Lei, Z., 2012, Architecture design for smart grid, *Energy Procedia*, 17, 1524-1528.
- Data, The benchmark functions, <https://www.sfu.ca/~ssurjano/optimization.html>:
- Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S. ve Meyarivan, T., 2002, A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: BOSGA-II, *IEEE Transactions on evolutionary computation*, 6 (2), 182-197.
- Devabalaji, K. ve Ravi, K., 2016, Optimal size and siting of multiple DG and DSTATCOM in radial distribution system using bacterial foraging optimization algorithm, *Ain Shams Engineering Journal*, 7 (3), 959-971.
- Devi, S. ve Geethanjali, M., 2014a, Application of modified bacterial foraging optimization algorithm for optimal placement and sizing of distributed generation, *Expert Systems with Applications*, 41 (6), 2772-2781.
- Devi, S. ve Geethanjali, M., 2014b, Optimal location and sizing determination of Distributed Generation and DSTATCOM using Particle Swarm Optimization algorithm, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 62, 562-570.
- El-Zonkoly, A., 2011, Optimal placement of multi-distributed generation units including different load models using particle swarm optimisation, *IET generation, transmission & distribution*, 5 (7), 760-771.
- Esmaili, M., Firozjaee, E. C. ve Shayanfar, H. A., 2014, Optimal placement of distributed generations considering voltage stability and power losses with observing voltage-related constraints, *Applied Energy*, 113, 1252-1260.
- Esmin, A. A., Lambert-Torres, G. ve De Souza, A. Z., 2005, A hybrid particle swarm optimization applied to loss power minimization, *IEEE Transactions on power systems*, 20 (2), 859-866.
- Fossati, J. P., Galarza, A., Martín-Villate, A. ve Fontán, L., 2015, A method for optimal sizing energy storage systems for microgrids, *Renewable Energy*, 77, 539-549.
- Gampa, S. R. ve Das, D., 2017, Multi-Objective Approach for Reconfiguration of Distribution Systems with Distributed Generations, *Electric Power Components and Systems*, 45 (15), 1678-1690.
- Gandomi, A. H., Yang, X.-S., Talatahari, S. ve Deb, S., 2012, Coupled eagle strategy and differential evolution for unconstrained and constrained global optimization, *Computers & Mathematics with Applications*, 63 (1), 191-200.
- Ghosh, S., Ghoshal, S. P. ve Ghosh, S., 2010, Optimal sizing and placement of distributed generation in a network system, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 32 (8), 849-856.
- Goedecke, M., Therdthianwong, S. ve Gheewala, S. H., 2007, Life cycle cost analysis of alternative vehicles and fuels in Thailand, *Energy Policy*, 35 (6), 3236-3246.

- Goldberg, D. E. ve Holland, J. H., 1988, Genetic algorithms and machine learning, *Machine learning*, 3 (2), 95-99.
- Hazem, N., Elshahed, M. A. ve Osman, Z. H., 2017, Optimal placement of dispatchable and non-dispatchable distributed generation of different technologies, *Power Systems Conference (MEPCON), 2017 Nineteenth International Middle East*, 1023-1030.
- Hazra, J. ve Sinha, A., 2007, A study on real and reactive power optimization using particle swarm optimization, *Industrial and Information Systems, 2007. ICIIS 2007. International Conference on*, 323-328.
- Herzog, A. V., Lipman, T. E. ve Kammen, D. M., 2001, Renewable energy sources, *Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS). Forerunner Volume- 'Perspectives and Overview of Life Support Systems and Sustainable Development*.
- Homaei, O., Zakariazadeh, A. ve Jadid, S., 2014, Real-time voltage control algorithm with switched capacitors in smart distribution system in presence of renewable generations, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 54, 187-197.
- Hung, D. Q., Mithulananthan, N. ve Lee, K. Y., 2014, Optimal placement of dispatchable and nondispatchable renewable DG units in distribution networks for minimizing energy loss, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 55, 179-186.
- IEA, 2011, Technology roadmap smart grids, *International Energy Agency*.
- Imran, A. M., Kowsalya, M. ve Kothari, D., 2014, A novel integration technique for optimal network reconfiguration and distributed generation placement in power distribution networks, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 63, 461-472.
- Ipakchi, A. ve Albuyeh, F., 2009, Grid of the future, *IEEE power and energy magazine*, 7 (2), 52-62.
- Javidtash, N., Jabbari, M., Niknam, T. ve Nafar, M., 2017, A novel mixture of non-dominated sorting genetic algorithm and fuzzy method to multi-objective placement of distributed generations in Microgrids, *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 33 (4), 2577-2584.
- Kallel, R., Boukettaya, G. ve Krichen, L., 2014, Control management strategy of stand-alone hybrid power micro-system using super-capacitor, *International Journal of Renewable Energy Research (IJRER)*, 4 (1), 210-223.
- Kansal, S., Kumar, V. ve Tyagi, B., 2013, Optimal placement of different type of DG sources in distribution networks, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 53, 752-760.
- Kansal, S., Kumar, V. ve Tyagi, B., 2016, Hybrid approach for optimal placement of multiple DGs of multiple types in distribution networks, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 75, 226-235.
- Kaur, S., Kumbhar, G. ve Sharma, J., 2014, A MINLP technique for optimal placement of multiple DG units in distribution systems, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 63, 609-617.
- Kefayat, M., Ara, A. L. ve Niaki, S. N., 2015, A hybrid of ant colony optimization and artificial bee colony algorithm for probabilistic optimal placement and sizing of distributed energy resources, *Energy Conversion and Management*, 92, 149-161.
- Keles, C., Alagoz, B. B. ve Kaygusuz, A., 2015, A note on demand side load management by maximum power limited load shedding algorithm for smart grids, *Smart Grid Congress and Fair (ICSG), 2015 3rd International Istanbul*, 1-5.

- Kennedy, J. ve Eberhart, R., 1995, Particle swarm optimization, *Proceedings of ICNN'95 - International Conference on Neural Networks*, 1942-1948 vol.1944.
- Khatod, D. K., Pant, V. ve Sharma, J., 2013, Evolutionary programming based optimal placement of renewable distributed generators, *IEEE Transactions on Power systems*, 28 (2), 683-695.
- Khodabakhshian, A. ve Andishgar, M. H., 2016, Simultaneous placement and sizing of DGs and shunt capacitors in distribution systems by using IMDE algorithm, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 82, 599-607.
- Koç, İ. M., Erhan, K., Aktaş, A., Özdemir, E. ve Özdemir, Ş., AKILLI ŞEBEKE STANDARTLARINDA ENERJİ DEPOLAMA UYGULAMALARININ İNCELENMESİ.
- Kollu, R., Rayapudi, S. R. ve Sadhu, V. L. N., 2014, A novel method for optimal placement of distributed generation in distribution systems using HSDO, *International Transactions on Electrical Energy Systems*, 24 (4), 547-561.
- Kopacak, N., 2016, Karaman ayrıncı dağıtım şebekesinde 1 mw güneş enerji santrallerinin bağlantı etkilerinin incelenmesi, *Selçuk Üniversitesi*, 108.
- Kouro, S., Leon, J. I., Vinnikov, D. ve Franquelo, L. G., 2015, Grid-connected photovoltaic systems: An overview of recent research and emerging PV converter technology, *IEEE industrial electronics magazine*, 9 (1), 47-61.
- Kumar, M., Nallagownden, P. ve Elamvazuthi, I., 2017, Multi-objective PSO based optimal placement of solar power DG in radial distribution system, *Journal of Electrical Systems*, 13 (2).
- Laboratory, N. R. E., 2016, Distributed generation renewable energy estimate of costs, <https://www.nrel.gov/analysis/tech-lcoe-re-cost-est.html>:
- Lamadrid, A. J., 2015, Optimal use of energy storage systems with renewable energy sources, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 71, 101-111.
- Lee, S.-H. ve Park, J.-W., 2009, Selection of optimal location and size of multiple distributed generations by using Kalman filter algorithm, *IEEE Transactions on Power systems*, 24 (3), 1393-1400.
- Lin, C., Wu, W., Zhang, B., Wang, B., Zheng, W. ve Li, Z., 2017, Decentralized reactive power optimization method for transmission and distribution networks accommodating large-scale DG integration, *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 8 (1), 363-373.
- Liserre, M., Sauter, T. ve Hung, J. Y., 2010, Future energy systems: Integrating renewable energy sources into the smart power grid through industrial electronics, *IEEE industrial electronics magazine*, 4 (1), 18-37.
- Lund, H., 2006, Large-scale integration of optimal combinations of PV, wind and wave power into the electricity supply, *Renewable Energy*, 31 (4), 503-515.
- Lund, H., 2010, Renewable Energy Systems: The Choice and Modeling of 100% Renewable Solutions, *Burlington, USA*, Academic Press (Elsevier), p. 296.
- Lund, H., Andersen, A. N., Østergaard, P. A., Mathiesen, B. V. ve Connolly, D., 2012, From electricity smart grids to smart energy systems—a market operation based approach and understanding, *Energy*, 42 (1), 96-102.
- Maciel, R. S., Rosa, M., Miranda, V. ve Padilha-Feltrin, A., 2012, Multi-objective evolutionary particle swarm optimization in the assessment of the impact of distributed generation, *Electric Power Systems Research*, 89, 100-108.
- Mahmoud, K., Yorino, N. ve Ahmed, A., 2016, Optimal distributed generation allocation in distribution systems for loss minimization, *IEEE Transactions on Power systems*, 31 (2), 960-969.

- Marken, P. E., Marczewski, J. J., D'Aquila, R., Hassink, P., Roedel, J. H. ve Bodo, R. L., 2009, VFT-a smart transmission technology that is compatible with the existing and future grid, *Power Systems Conference and Exposition, 2009. PSCE'09. IEEE/PES*, 1-7.
- Mary, G. A. ve Rajarajeswari, R., 2014, Smart grid cost optimization using genetic algorithm, *Int. J. Res. Eng. Technol*, 3 (7), 282-287.
- Meena, N. K., Swarnkar, A., Gupta, N. ve Niazi, K. R., 2017, Multi-objective Taguchi approach for optimal DG integration in distribution systems, *IET generation, transmission & distribution*, 11 (9), 2418-2428.
- Metke, A. R. ve Ekl, R. L., 2010, Security technology for smart grid networks, *IEEE Transactions on Smart Grid*, 1 (1), 99-107.
- Mirjalili, S., Gandomi, A. H., Mirjalili, S. Z., Saremi, S., Faris, H. ve Mirjalili, S. M., 2017, Salp Swarm Algorithm: A bio-inspired optimizer for engineering design problems, *Advances in engineering software*, 114, 163-191.
- Mohandas, N., Balamurugan, R. ve Lakshminarasimman, L., 2015, Optimal location and sizing of real power DG units to improve the voltage stability in the distribution system using ABC algorithm united with chaos, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 66, 41-52.
- Mostaghim, S. ve Teich, J., 2003, Strategies for finding good local guides in multi-objective particle swarm optimization (MOPSO), *Swarm Intelligence Symposium, 2003. SIS'03. Proceedings of the 2003 IEEE*, 26-33.
- Muthukumar, K. ve Jayalalitha, S., 2016, Optimal placement and sizing of distributed generators and shunt capacitors for power loss minimization in radial distribution networks using hybrid heuristic search optimization technique, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 78, 299-319.
- Muthukumar, K. ve Jayalalitha, S., 2017, Integrated approach of network reconfiguration with distributed generation and shunt capacitors placement for power loss minimization in radial distribution networks, *Applied Soft Computing*, 52, 1262-1284.
- Nguyen, T. T., Truong, A. V. ve Phung, T. A., 2016, A novel method based on adaptive cuckoo search for optimal network reconfiguration and distributed generation allocation in distribution network, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 78, 801-815.
- Niknam, T., 2011, A new HBMO algorithm for multiobjective daily Volt/Var control in distribution systems considering distributed generators, *Applied Energy*, 88 (3), 778-788.
- Niknam, T., Taheri, S. I., Aghaei, J., Tabatabaei, S. ve Nayeripour, M., 2011, A modified honey bee mating optimization algorithm for multiobjective placement of renewable energy resources, *Applied Energy*, 88 (12), 4817-4830.
- Phuangpornpitak, N. ve Tia, S., 2013, Opportunities and challenges of integrating renewable energy in smart grid system, *Energy Procedia*, 34, 282-290.
- Poornazaryan, B., Karimyan, P., Gharehpetian, G. ve Abedi, M., 2016, Optimal allocation and sizing of DG units considering voltage stability, losses and load variations, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 79, 42-52.
- Porkar, S., Poure, P., Abbaspour-Tehrani-fard, A. ve Saadate, S., 2010, A novel optimal distribution system planning framework implementing distributed generation in a deregulated electricity market, *Electric Power Systems Research*, 80 (7), 828-837.
- Prabha, D. R. ve Jayabarathi, T., 2016, Optimal placement and sizing of multiple distributed generating units in distribution networks by invasive weed optimization algorithm, *Ain Shams Engineering Journal*, 7 (2), 683-694.

- Reddy, K., Kumar, M., Mallick, T., Sharon, H. ve Lokeswaran, S., 2014, A review of Integration, Control, Communication and Metering (ICCM) of renewable energy based smart grid, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 38, 180-192.
- Reddy, S. S. ve Momoh, J. A., 2016, Minimum emission dispatch in an integrated thermal and wind energy conservation system using self-adaptive differential evolution, *PowerAfrica, 2016 IEEE PES*, 269-273.
- Report, 2003, Grid 2030: A national vision for electricity's second 100 years, *Department of Energy USA*.
- Reyes-Sierra, M. ve Coello, C. C., 2006, Multi-objective particle swarm optimizers: A survey of the state-of-the-art, *International journal of computational intelligence research*, 2 (3), 287-308.
- Ruiz-Romero, S., Colmenar-Santos, A., Mur-Pérez, F. ve López-Rey, Á., 2014, Integration of distributed generation in the power distribution network: The need for smart grid control systems, communication and equipment for a smart city— Use cases, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 38, 223-234.
- Salinas, S., Li, M., Li, P. ve Fu, Y., 2013, Dynamic energy management for the smart grid with distributed energy resources, *IEEE Transactions on Smart Grid*, 4 (4), 2139-2151.
- Saruhan, H., 2004, Genetic algorithms: an optimization technique, *Technology*, 7 (1), 105-114.
- Sedghi, M., Ahmadian, A. ve Aliakbar-Golkar, M., 2016, Optimal storage planning in active distribution network considering uncertainty of wind power distributed generation, *IEEE Transactions on Power systems*, 31 (1), 304-316.
- Sheng, W., Liu, K.-Y., Liu, Y., Meng, X. ve Li, Y., 2015, Optimal placement and sizing of distributed generation via an improved nondominated sorting genetic algorithm II, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 30 (2), 569-578.
- Shi, Y., 2001, Particle swarm optimization: developments, applications and resources, *evolutionary computation, 2001. Proceedings of the 2001 Congress on*, 81-86.
- Srisaen, N. ve Sangswang, A., 2006, Effects of PV grid-connected system location on a distribution system, *Circuits and Systems, 2006. APCCAS 2006. IEEE Asia Pacific Conference on*, 852-855.
- Straatman, P. J. ve Van Sark, W. G., 2008, A new hybrid ocean thermal energy conversion–Offshore solar pond (OTEC–OSP) design: A cost optimization approach, *Solar Energy*, 82 (6), 520-527.
- Syahputra, R., Robandi, I. ve Ashari, M., 2015a, Performance Improvement of Radial Distribution Network with Distributed Generation Integration Using Extended Particle Swarm Optimization Algorithm, *International Review of Electrical Engineering (IREE)*, 10 (2), 293-304.
- Syahputra, R., Robandi, I. ve Ashari, M., 2015b, Reconfiguration of Distribution Network with Distributed Energy Resources Integration Using PSO Algorithm, *TELKOMNIKA (Telecommunication Computing Electronics and Control)*, 13 (3), 759-766.
- Tolabi, H. B., Ali, M. H. ve Rizwan, M., 2015, Simultaneous reconfiguration, optimal placement of DSTATCOM, and photovoltaic array in a distribution system based on fuzzy-ACO approach, *IEEE Transactions on sustainable Energy*, 6 (1), 210-218.
- Ugranlı, F. ve Karatepe, E., 2012, Convergence of rule-of-thumb sizing and allocating rules of distributed generation in meshed power networks, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16 (1), 582-590.
- Vatani, M., Alkaran, D. S., Sanjari, M. J. ve Gharehpetian, G. B., 2016, Multiple distributed generation units allocation in distribution network for loss reduction



- based on a combination of analytical and genetic algorithm methods, *IET generation, transmission & distribution*, 10 (1), 66-72.
- Veri, Test sistemleri verileri, Online içerik, [http://www.ece.ubc.ca/~hamed/download\\_files/](http://www.ece.ubc.ca/~hamed/download_files/): [20.02.2017].
- Vincent, E. N. ve Yusuf, S. D., 2014, Integrating renewable energy and smart grid technology into the Nigerian electricity grid system, *Smart Grid and Renewable Energy*, 5 (09), 220.
- Wang, C. ve Nehrir, M. H., 2004, Analytical approaches for optimal placement of distributed generation sources in power systems, *IEEE Transactions on Power systems*, 19 (4), 2068-2076.
- Weng, G., Huang, F., Tang, Y., Yan, J., Nan, Y. ve He, H., 2017, Fault-tolerant location of transient voltage disturbance source for DG integrated smart grid, *Electric Power Systems Research*, 144, 13-22.
- Yang, X.-S., 2008, Nature-inspired metaheuristic algorithms, Luniver press, p.
- Yang, X.-S. ve Deb, S., 2010, Eagle strategy using Lévy walk and firefly algorithms for stochastic optimization, In: Nature Inspired Cooperative Strategies for Optimization (NICSO 2010), Eds: Springer, p. 101-111.
- Yang, X.-S., Deb, S. ve He, X., 2013, Eagle strategy with flower algorithm, *Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI), 2013 International Conference on*, 1213-1217.
- Yapıcı, H. ve Çetinkaya, N., 2016, Reactive Power Optimization with Chaotic Firefly Algorithm and Particle Swarm Optimization in A Distribution Subsystem Network, *Iraqi Journal for Electrical And Electronic Engineering*, 12 (1), 71-78.
- Yapıcı, H. ve Çetinkaya, N., 2017, An improved particle swarm optimization algorithm using eagle strategy for power loss minimization, *Mathematical Problems in Engineering*, 2017.
- Zakariazadeh, A., Jadid, S. ve Siano, P., 2014, Stochastic multi-objective operational planning of smart distribution systems considering demand response programs, *Electric Power Systems Research*, 111, 156-168.
- Zeinalzadeh, A., Mohammadi, Y. ve Moradi, M. H., 2015, Optimal multi objective placement and sizing of multiple DGs and shunt capacitor banks simultaneously considering load uncertainty via MOPSO approach, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 67, 336-349.
- Zimmerman, R. D., Murillo-Sánchez, C. E. ve Thomas, R. J., 2011, MATPOWER: Steady-state operations, planning, and analysis tools for power systems research and education, *IEEE Transactions on power systems*, 26 (1), 12-19.
- Zitzler, E., Deb, K. ve Thiele, L., 2000, Comparison of multiobjective evolutionary algorithms: Empirical results, *Evolutionary computation*, 8 (2), 173-195.

## EKLER

### Ek 1. Modifiye Edilmiş IEEE 30-Baralı Sistemin Parametreleri

**Tablo E1-1.** Modifiye edilmiş IEEE 30-baralı sistemi için bara yük değerleri.

Bara No	Aktif Güç	Reaktif Güç	İlave Kondansatör
1	0	0	0
2	40.5	26	0
3	12.5	9.1	20
4	30.6	15	0
5	100.2	60	0
6	0	0	0
7	50.1	20	0
8	30	12	0
9	0	0	0
10	5.8	2	0
11	0	0	0
12	11.2	7.5	0
13	0	0	0
14	6.2	1.6	0
15	8.7	2.5	0
16	3.5	1.8	0
17	9	5.8	0
18	3.2	0.9	0
19	9.5	3.4	0
20	2.2	0.7	0
21	17.5	11.20	0
22	0	0	0
23	3.2	1.6	0
24	5	3.7	10
25	0	0	0
26	4.5	1.5	5
27	0	0	0
28	0	0	0
29	10.9	5.3	5
30	10	10	5

\* Sistemin toplam aktif gücü 374.3 MW ve toplam reaktif gücü 201.6 MVAR'dır.

**Tablo E1-2.** Sistemde yer alan Rüzgar Türbini birimlerinin değerleri.

Bara No	YEK Santral Gücü	Maksimum Reaktif Güç	Minimum Reaktif Güç
7	10	10	-3
26	10	10	-3

## Ek 2. Modifiye Edilmiş IEEE 57-Baralı Sistemin Parametreleri

Tablo E2-1. Modifiye edilmiş IEEE 57-baralı sistemi için bara yük değerleri.

Bara No	Aktif Güç	Reaktif Güç	İlave Kondansatör
1	55	17	0
2	3	88	0
3	41	21	0
4	0	0	0
5	13	4	0
6	75	2	0
7	0	0	0
8	150	22	0
9	121	26	0
10	5	2	0
11	0	0	0
12	377	24	0
13	18	2.3	0
14	10.5	5.3	0
15	22	5	0
16	43	3	0
17	42	8	0
18	27.2	9.8	10
19	3.3	0.6	0
20	2.3	1	0
21	0	0	0
22	0	0	0
23	6.3	2.1	0
24	0	0	0
25	6.3	3.2	5.9
26	0	0	0
27	9.3	0.5	0
28	4.6	2.3	0
29	17	2.6	0
30	3.6	1.8	0
31	5.8	2.9	0
32	1.6	0.8	0
33	3.8	1.9	0
34	0	0	0
35	6	3	0
36	0	0	0
37	0	0	0
38	14	7	0
39	0	0	0
40	0	0	0
41	6.3	3	0
42	7.1	4.4	0
43	2	1	0
44	12	1.8	0
45	0	0	0
46	0	0	0
47	29.7	11.6	0
48	0	0	0
49	18	8.5	0
50	21	10.5	0
51	18	5.3	0
52	4.9	2.2	0
53	20	10	6.3
54	4.1	1.4	0
55	6.8	3.4	0
56	7.6	2.2	0
57	6.7	2	0

\* Sistemin toplam aktif gücü 1250.8 MW ve toplam reaktif gücü 336.4 MVAR'dır.

**Tablo E2-2.** Sistemde yer alan Rüzgar Türbini birimlerinin değerleri.

Bara No	YEK Santral Gücü	Maksimum Reaktif Güç	Minimum Reaktif Güç
18	10	5	-5
26	10	5	-5

### Ek 3. Modifiye Edilmiş IEEE 118-Baralı Sistemin Parametreleri

Tablo E3-1. Modifiye edilmiş IEEE 118-baralı sistemi için bara yük değerleri.

Bara No	Aktif Güç	Reaktif Güç	İlave Kondansatör	Bara No	Aktif Güç	Reaktif Güç	İlave Kondansatör
1	50	25	0	60	85	30	0
2	25	10	0	61	0	0	0
3	40	20	0	62	100	40	0
4	30	15	0	63	0	0	0
5	0	0	-40	64	0	0	0
6	50	20	0	65	0	0	0
7	10	1	0	66	40	20	0
8	30	2	0	67	40	21	0
9	0	0	0	68	0	0	0
10	0	0	0	69	0	0	0
11	72	25	0	70	86	22	0
12	40	5	0	71	0	0	0
13	40	20	0	72	10	0	0
14	20	5	0	73	6	0	0
15	92	20	0	74	68	27	12
16	20	5	0	75	48	10	0
17	18	10	0	76	18	6	0
18	70	40	0	77	30	10	0
19	40	20	0	78	41	14	0
20	20	5	0	79	18	10	20
21	10	2	0	80	100	20	0
22	20	15	0	81	0	0	0
23	10	8	0	82	55	20	20
24	20	1	0	83	10	5	10
25	0	0	0	84	11	7	0
26	0	0	0	85	10	5	0
27	50	10	0	86	23	13	0
28	10	5	0	87	0	0	0
29	20	5	0	88	40	7	0
30	0	0	0	89	0	0	0
31	20	7	0	90	170	45	0
32	20	2	0	91	10	0	0
33	40	15	0	92	59	2	0
34	80	35	14	93	5	2	0
35	40	19	0	94	11	6	0
36	50	20	0	95	7	1	0
37	0	0	-25	96	15	5	0
38	0	0	0	97	5	1	0
39	30	20	0	98	14	8	0
40	78	35	0	99	20	0	0
41	51	28	0	100	17	2	0
42	100	30	0	101	22	7	0
43	35	20	0	102	5	3	0
44	20	5	10	103	23	16	0
45	63	33	10	104	38	25	0
46	42	27	10	105	31	26	20
47	30	0	0	106	43	16	0
48	10	4	15	107	50	12	6
49	104	45	0	108	2	1	0
50	10	1	0	109	8	3	0
51	28	11	0	110	39	30	6
52	35	17	0	111	0	0	0
53	22	10	0	112	8	1	0
54	157	88	0	113	6	0	0
55	70	35	0	114	8	3	0
56	100	42	0	115	22	7	0
57	10	3	0	116	80	0	0
58	10	3	0	117	2	1	0
59	360	140	0	118	5	1	0

\* Sistemin toplam aktif gücü 3986 MW ve toplam reaktif gücü 1500 MVAR'dır.

**Tablo E3-2.** Sistemde yer alan Rüzgar Türbini birimlerinin değerleri.

Bara No	YEK Santral Gücü	Maksimum Reaktif Güç	Minimum Reaktif Güç
8	22	10	0

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Hamza YAPICI  
**Uyruğu** : TC  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : Yeniceoba / 03.01.1985  
**Telefon** : 0332 712 74 24 /134  
**Faks** :  
**e-mail** : hyapici@erbakan.edu.tr

### EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lisans	: Dumlupınar Üniversitesi	2008
Yükseklisans	: Selçuk Üniversitesi	2013

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2009-2011	Meram Elektrik Dağıtım AŞ	Mühendis
2011-2013	Selçuk Üniversitesi	Öğretim Görevlisi
2013-	Necmettin Erbakan Üniversitesi	Öğretim Görevlisi

### UZMANLIK ALANI

Güç optimizasyonu, elektrik dağıtım tesisleri, sezgisel algoritmalar.

### YABANCI DİLLER

İngilizce

### YAYINLARI

Yapıcı, H. ve Çetinkaya, N., 2016, Reactive Power Optimization with Chaotic Firefly Algorithm and Particle Swarm Optimization in A Distribution Subsystem Network, *Iraqi Journal for Electrical And Electronic Engineering*, 12 (1), 71-78.  
 Yapıcı, H. ve Çetinkaya, N., 2017, An improved particle swarm optimization algorithm using eagle strategy for power loss minimization, *Mathematical Problems in Engineering*, 2017.