



## Multi-objective day-ahead optimal energy scheduling of a grid connected distribution network consisting of renewable energy sources and storage units

Sibel Çevik Bektaş<sup>1\*</sup>, İsmail Hakkı Altaş<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Abdullah Kanca Vocational School, Karadeniz Technical University, 61530, Trabzon, Türkiye

<sup>2</sup>Department of Electrical and Electronics Engineering, Faculty of Engineering, Karadeniz Technical University, 61080, Trabzon, Türkiye

### Highlights:

- Multi objective day-ahead optimal energy scheduling
- Performance comparison of meta-heuristic MOSOS, MOPSO and MOCSO algorithms
- Considerable performance improvements by proposed MOSOS algorithm

### Keywords:

- Multi objective meta-heuristic optimization
- Day-ahead scheduling
- Renewable energy sources
- Energy storage
- Distributed generation

### Article Info:

Research Article

Received: 02.02.2024

Accepted: 23.11.2024

### DOI:

10.17341/gazimmfd.1430132

### Correspondence:

Author: Sibel Çevik Bektaş  
e-mail: sibelcevikbektas@ktu.edu.tr  
phone: +90 462 377 8192

### Graphical/Tabular Abstract

The planning of energy generation and consumption is the basis for the daily operation of power systems in order to maintain a stable operation by keeping the generation and consumption in balance. An effective day-ahead planning strategy enables economic and reliable operation of the electricity grid. In addition, day-ahead scheduling provides a reference for intra-day scheduling. This study presents pareto optimal solutions to day-ahead optimal energy scheduling in 5 bus test system in the presence of renewable energy sources, storage unit and grid connection. The one line diagram for test system is shown in Figure A.

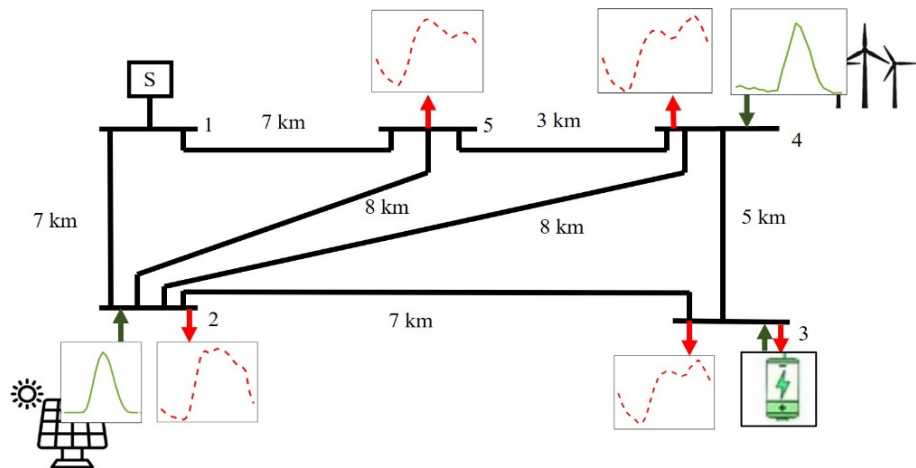


Figure A. Five Bus Distribution Test System

**Purpose:** The aim of this study is to investigate optimal Pareto solutions that provide solutions to the day-ahead optimum energy planning or scheduling problems in a utility connected five bus distribution test system consisting of renewable energy sources and storage units.

**Theory and Methods:** The weighted sum method based multi objective symbiotic organisms search (MOSOS) algorithm has been proposed to solve this multi constrained multi objective problem. The performance of the proposed algorithm is compared with that performance of the weighted sum method based multi objective particle swarm optimization (MOPSO) algorithm and the weighted sum method based multi objective cuckoo search optimization (MOCSO) algorithm. The results have shown that the proposed MOSOS algorithm results in better solution than those of MOPSO and MOCSO algorithms.

**Results:** According to the optimal solutions obtained by the MOCSO, MOPSO and MOSOS algorithms, as the value of the weighting coefficient increases, the active power loss decreases and the operating cost increases, which means that these objectives are contradictory. It shows that the pareto front obtained by the MOSOS algorithm suppresses the pareto fronts obtained by the MOCSO and the MOPSO algorithms. In other words, the MOSOS algorithm produces optimal results for each weighting coefficient.

**Conclusion:** As a result, three multi-objective metaheuristic algorithms have been successfully applied for day-ahead optimal scheduling in 5 bus distribution network. The MOSOS algorithm has an excellent performance than the MOCSO and the MOPSO algorithms



## Yenilenebilir enerji kaynakları ve depolama birimlerinden oluşan, şebeke bağlantılı bir dağıtım şebekesinin çok amaçlı gün öncesi optimum enerji planlaması

Sibel Çevik Bektaş<sup>\*1</sup> , İsmail Hakkı Altaş<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Abdullah Kanca Meslek Yüksekokulu, 61530, Trabzon, Türkiye

<sup>2</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon, Türkiye

### Ö N E Ç I K A N L A R

- Çok amaçlı gün öncesi optimum enerji planlaması
- ÇASOS, ÇAPSO ve ÇAGKO algoritmalarının performans karşılaştırması
- ÇASOS algoritmasının dikkate değer performansı

#### Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi  
Geliş: 02.02.2024  
Kabul: 23.11.2024

#### DOI:

10.17341/gazimmfd.1430132

#### Anahtar Kelimeler:

Çok amaçlı meta sezgisel optimizasyon, gün öncesi planlama, yenilenebilir enerji kaynakları, enerji depolama, dağıtık üretim

#### ÖZ

Güç sistemlerinin üretim-tüketim dengesini sağlayarak kararlı bir şekilde işletilmesi enerji üretim ve tüketiminin gün öncesinden planlamasına dayanır. Etkili bir gün öncesi planlama stratejisi elektrik şebekesinin ekonomik, verimli ve güvenilir bir şekilde yönetilmesine olanak sağlar. Ayrıca, gün öncesinden yapılan planlama ile elde edilen operasyon planı gün içinde yapılacak planlama için de referans sağlamaktadır. Bu çalışmanın amacı yenilenebilir enerji kaynakları ve enerji depolama ünitesine sahip şebeke bağlantılı 5 baralı bir dağıtık üretim test sisteminde gün öncesi optimum enerji planlaması veya kullanım programlaması probleminde çözüm sunan optimal pareto çözümlerin araştırılmasıdır. Çalışmada şebeke işletme maliyeti ve aktif güç kaybından oluşan çok amaçlı bir fonksiyon tanımlanmıştır. Bu tanımda, üretim birimleri ile şebeke kısıtları da dikkate alınmıştır. Çok amaçlı ve çok kısıtlı bu problemin çözümü için sabit ağırlık katsayılı çok amaçlı simbiyotik organizmalar arama (ÇASOS) algoritması önerilmiştir. Önerilen algoritmanın performansı, ağırlıklı toplam yöntemi tabanlı çok amaçlı parçacık sürüsü optimizasyonu (ÇAPSO) algoritması ve ağırlıklı toplam yöntemi tabanlı çok amaçlı guguk kuşu optimizasyonu (ÇAGKO) algoritmasının performansı ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, önerilen ÇASOS algoritmasının ÇAPSO ve ÇAGKO algoritmalarından daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

## Multi-objective day-ahead optimal energy scheduling of a grid connected distribution network consisting of renewable energy sources and storage units

### H I G H L I G H T S

- Multi objective day-ahead optimal energy scheduling
- Performance comparison of meta-heuristic MOSOS, MOPSO and MOCSO algorithms
- Considerable performance improvements by proposed MOSOS algorithm

#### Article Info

Research Article  
Received: 02.02.2024  
Accepted: 23.11.2024

#### DOI:

10.17341/gazimmfd.1430132

#### Keywords:

Multi objective meta-heuristic optimization, Day-ahead scheduling, renewable energy sources, energy storage, distributed generation

#### ABSTRACT

The planning of energy generation and consumption is the basis for the daily operation of power systems in order to maintain a stable operation by keeping the generation and consumption in balance. An effective day-ahead planning strategy enables economic and reliable operation of the electricity grid. In addition, day-ahead scheduling provides a reference for intra-day scheduling. The aim of this study is to investigate optimal Pareto solutions that provide solutions to the day-ahead optimum energy planning or scheduling problems in a utility connected five bus distribution grid test system consisting of renewable energy sources and storage units. The multi objective function, which contain the operating cost and active power losses of the network, has been defined by considering the power generation units and network constraints. The weighted sum method based multi objective symbiotic organisms search (MOSOS) algorithm has been proposed to solve this multi constrained multi objective problem. The performance of the proposed algorithm is compared with that of the weighted sum method based multi objective particle swarm optimization (MOPSO) algorithm and the weighted sum method based multi objective cuckoo search optimization (MOCSO) algorithm. The results have shown that the proposed MOSOS algorithm results in better solution than those of MOPSO and MOCSO algorithms.

\*Sorumlu Yazar/Yazarlar / Corresponding Author/Authors : \*sibelcevikbektas@ktu.edu.tr / Tel: +90 462 377 8192

## 1. Giriş (Introduction)

Artan elektrik enerjisi talebinin karşılanmasında rüzgâr ve fotovoltaik (FV) güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynakları giderek konvansiyonel kaynaklara alternatif olmaya hatta onların yerini almaya başlamışlardır. Kuruluş maliyetlerindeki düşüşün yanı sıra, kaynağın temiz, yerli ve yenilenebilir olması FV ve rüzgâr enerji sistemlerinin kullanımını giderek yaygınlaştırmaktadır. Yenilenebilir kaynaklar genellikle tüketime yakın hatta tüketimle iç içe kurulduğundan, güç elektroniği dönüştürücüleri üzerinden doğrudan dağıtım şebekelerine bağlanmaktadır. Yenilenebilir kaynaklara depolamalı araç dolun istasyonlarının da eklenmesi ile dağıtım şebekesinin hızlı bir şekilde çok kaynaklı bir mikro şebekeye dönüştüğü rahatça görülebilir [1, 2]. Dağıtım şebekesinin farklı türlerde ve çok sayıda elektrik güç kaynağına sahip olması nedeniyle oluşan dağıtık üretim yapısı bu sistemlerde önemli yeni sorunların da oluşmasına neden olmuştur [3, 4].

Enerji depolama sistemleri (EDS), YEK ile donatılmış şebekelerde gerilim dalgalanmalarını iyileştirmek, elektrik arzı ile talebini dengelemek, güç kayıplarını azaltmak, yenilenebilir üretimin fazla olduğu zamanlarda enerjiyi depolamak az olduğu zamanlarda ise yüksek talebe destek olmak gibi pek çok amaç için kullanılmaktadır [5-8]. Ayrıca güç sistemi güvenilirliğini ve verimliliğini iyileştirmekle beraber elektrik enerjisi yönetiminin daha esnek şekilde yapılabilmesine de olanak sağlamaktadır [9, 10].

Enerji yönetim sistemi (EYS), dağıtım sistemlerin işleyişinde önemli bir rol oynar. Enerjiyi izleyerek, kontrol ederek ve koruyarak güç sisteminin çalışmasını daha verimli hale getirir. Artan enerji talebini karşılamak, çevre kirliliğini azaltmak ve sürdürülebilir kalkınma için sosyoekonomik faydaya ulaşmak için dağıtım sistemlerinde kapsamlı araştırmalara ve yeniliklere ihtiyaç duyulmaktadır [11]. Elektrik dağıtım sistemlerinde enerji yönetimi bir veya birkaç amaç fonksiyonu tanımlanarak bu fonksiyonun optimize edilmesi ile gerçekleştirilir. Mikro şebekelerde dağıtık üreticilerin de dikkate farklı açılardan alınması gerekir [12, 13].

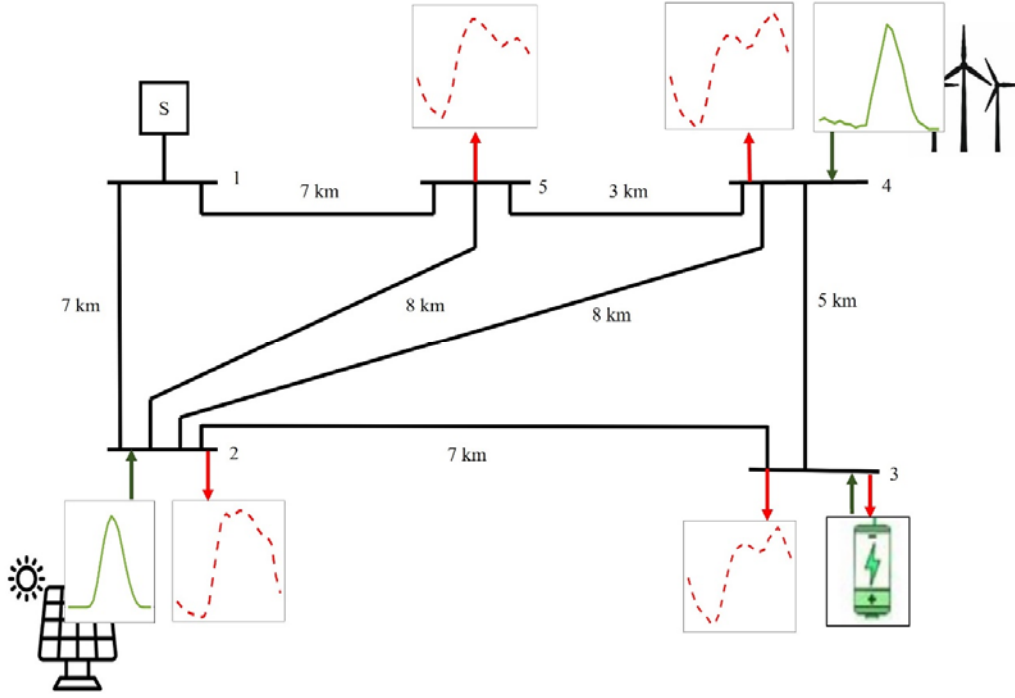
Kestirilmiş yük, rüzgâr gücü ve fotovoltaik (FV) güç bilgilerine göre, elektrik şebekesinin optimal yönetimi, uzun vadeli, gün öncesi, gün içi ve gerçek zamanlı planlamalar olarak kategorize edilir. Gün öncesi yapılan planlama ile şebekedeki aktif gücün koordinasyonu optimize edilir ve bu planlama gün içi yönetim için de bir referans sağlar. Etkili bir gün öncesi planlama stratejisi, şebeke operasyonunun ekonomik verimliliğini ve güvenilirliğini artırmak için büyük önem taşımaktadır [14]. Bununla birlikte dağıtım şebekesinin optimum yönetim problemi çok değişkenli, çok kısıtlı ve doğrusal olmayan karma tamsayılı bir problemdir [12]. Dağıtık enerji kaynakları (DEK)'nin çeşitli olması problemin daha da karmaşıklaşmasına sebep olmaktadır [14].

Raghav vd. [15] FV, rüzgâr, mikro türbin, yakıt hücresi ve enerji depolama elemanı yer alan bir şebekede minimum işletme maliyeti amaç fonksiyonuna göre gün öncesi optimum güç planlaması için kuantum öğretimi öğrenim optimizasyon (QTLBO, Quantum Teaching Learning-based optimization) algoritması önermişlerdir. Önerilen algoritma genetik algoritma, diferansiyel evrim ve TLBO algoritmalarına göre daha hızlı yakınsamış ve daha optimum sonuç üretmiştir. Yu vd. [16] enerji depolama sistemlerinin (EDS) boyutunu ve ayrıntılı saatlik operasyon planını araştırdıkları çalışmalarında işletme maliyetinin minimum olması hedeflemiş, probleminin çözümü için iki aşamalı stokastik optimizasyon tekniği önermiştir. Zey vd. [17] bir mikro şebekede yakıt maliyetlerinin ve atmosfere zararlı ve toksik kirleticilerin emisyonunun minimum olacağı saatlik operasyon planının belirlenmesi için karga arama algoritmasını (CSA)

önermişlerdir. Luo vd. [18] şebekeye bağlantılı FV, rüzgâr enerji üretim sistemi, yakıt hücresi, mikro türbin ve enerji depolama sistemi bulunan bir mikro şebekede işletme maliyetini optimum yapacak enerji planlaması problemi için bir yarsa algoritması (MBA) önermişlerdir. İmtiaz vd. [19] talep katılımından da faydalanarak şebeke işletme maliyetinin minimum olacak şekilde enerji planlaması problemi için yusufçuk algoritmasını önermişlerdir. Xiaoluan vd. [20] bir mikro şebekede toplam işletme maliyetini optimize etmek amacıyla yenilenebilir kaynaklar ile şebeke ve bataryanın 24 saatlik optimum enerji yönetimi için hibrit karga arama ve örüntü arama (HCS-PS) yöntemini önermişlerdir. Zhang vd. [21] rüzgâr ve güneş enerjisi üretim sistemleri ve enerji depolama üniteleri içeren IEEE 33 baralı test sisteminde enerji planlama çalışmalarında sistem işletim maliyetinin, aktif güç çıkışlarının, toplam aktif güç kaybının ve toplam gerilim dalgalanmalarının en aza indirileceği çok amaçlı fonksiyon tanımlanmıştır. Problemi çözmek için tavlama düşüncesiyle ayrıştırılmaya dayalı çok amaçlı evrimsel algoritmayı kullanmışlardır. Zhao vd. [22], parçacık sürü optimizasyonu-bakteriyel yiyecek arama algoritması kullanarak dağıtım sisteminin optimum planlanması için iki aşamalı çok amaçlı bir optimizasyon önermiştir. Bu çalışmadaki amaç fonksiyonları tepe ve vadi yükü farkı, gerilim dalgalanması ve aktif güç kaybının minimize edilmesidir. Tan vd. [23] enerji depolama elemanı ve dağıtık enerji kaynaklarının gün öncesinden saatlik planlanmasını şebekede oluşacak toplam güç kayıplarını minimize edecek şekilde gerçekleştirmiştir. Problemin çözümü için PSO algoritması kullanmışlardır. İlyas vd. [24] yenilenebilir ve geleneksel dağıtık üretim kaynakları bulunun IEEE 30 baralı test sisteminde işletme maliyetinin toplam aktif güç kaybının ve kirlitici emisyon etkisinin minimum olacağı çok amaçlı optimizasyon probleminin çözümü için MOPSO algoritmasını kullanmışlardır. Hosseinnia vd. [25] talep katılımı dahil ederek IEEE 33-bus test sistemi ve 101-bus Khoy-İran aktif dağıtım sisteminde optimum emisyon ve ekonomik işletme performansını verecek operasyon planı için karışık tamsayılı programlamadan (MIP, mixed-integer programming) faydalanmıştır.

Bu çalışmada, literatürde verilmiş mikro şebeke ve aktif dağıtım şebeke modellerinde yapılan çalışmalar değerlendirilerek fotovoltaik (FV), rüzgâr enerji sistemi (RES), EDS ve şebeke bağlantısı bulunan 5 baralı test sisteminde çok amaçlı bir gün öncesi optimal planlama çalışması yapılmıştır. Toplam işletme maliyetinin ve aktif güç kaybının en aza indirilmesi hedeflenen çok amaçlı fonksiyon, üretim birimleri ile şebeke kısıtlamaları göz önünde bulundurulmuş ve tanımlanmış ve yenilenebilir enerji birimleri ile EDS'nin ayarlanabilir güç çıktılarının saatlik operasyon planları araştırılmıştır. En optimum yönetim planının ortaya çıkarılması için bu çalışmada simbiyotik organizmalar arama (SOS) algoritması kullanılmıştır. Bu algoritma herhangi bir ayar parametresine ihtiyaç duymaması ve literatürde farklı problemlerde gösterdiği yüksek performansı [26-29] nedeniyle tercih edilmiştir. SOS algoritmasının ve bu çalışmaya konu olan probleme yönelik bir uygulamasına rastlanmamıştır, ancak burada çok amaçlı optimizasyon problemini çözmek için sabit ağırlık katsayılı çok amaçlı SOS (ÇASOS) algoritması önerilmiştir ve buna dayalı çalışmalar yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar daha önce benzer problemlere uygulaması yapılmış olan sabit ağırlık katsayılı çok amaçlı PSO (ÇAPSO) algoritması ve ağırlıklı toplam yöntemi tabanlı çok amaçlı guguk kuşu optimizasyon (ÇAGKO) algoritmasının performansı ile karşılaştırılmıştır.

Çalışmada kullanılan 5 baralı test sisteminin oluşturan bileşenler Bölüm 2'de açıklanmıştır. Bölüm 3'te, optimizasyon problemi, problemin amaç ve kısıtları ile problemin çözümü için önerilen algoritma verilmiştir. Problemin çözümü için kullanılan optimizasyon yöntemleri Bölüm 4'te açıklanmıştır. Elde edilen bulgular Bölüm 5'te, sonuçlar ve tartışma Bölüm 6'da verilmiştir.



Şekil 1. 5 baralı dağıtım şebekesinin tek hat diyagramı (Single line diagram of 5 bus distribution test system)

Tablo 1. Gün öncesinden kestirilmiş 24 saatlik FV, RES, yük değerleri ve ana şebeke fiyat değerleri (Day-ahead forecasted 24-hour data for PV, WES, load and main grid prices)

Saat		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
FV	(MW)	0	0	0	0	0	0	0,04	0,34	1,13	2,24	3,31	4,1
RES	(MW)	1,14	1,22	1,11	1,04	1,12	1,02	1	0,89	0,95	0,96	1,95	2,76
Yük <sub>bara2</sub>	(MW)	1,11	1,03	0,97	0,94	0,92	0,88	0,9	1,02	1,43	1,86	2,27	2,32
Yük <sub>bara3</sub>	(MW)	1,82	1,62	1,47	1,41	1,35	1,28	1,27	1,4	1,67	1,92	2,09	2,17
Yük <sub>bara4</sub>	(MW)	0,85	0,75	0,68	0,64	0,63	0,61	0,63	0,72	0,85	0,95	1,01	1,04
Yük <sub>bara5</sub>	(MW)	1,77	1,58	1,45	1,38	1,34	1,27	1,43	1,64	2,02	2,26	2,4	2,49
Şebeke fiyatı	(bin₺ct/MW)	0,23	0,19	0,14	0,12	0,12	0,2	0,23	0,38	1,5	4	4	4
Saat		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
FV	(MW)	4,5	4,27	3,79	2,93	2,02	1,25	0,63	0,23	0,03	0	0	0
RES	(MW)	3,62	4,5	4,3	3,67	3,06	2,18	1,46	1,09	0,98	0,83	0,84	0,83
Yük <sub>bara2</sub>	(MW)	2,26	2,32	2,36	2,35	2,3	2,23	2,11	2,02	2	1,91	1,46	1,22
Yük <sub>bara3</sub>	(MW)	2,21	2,22	2,18	2,14	2,13	2,15	2,29	2,35	2,42	2,32	2,18	2,03
Yük <sub>bara4</sub>	(MW)	1,03	1,03	1	0,98	1	1,05	1,1	1,12	1,16	1,12	1,05	0,96
Yük <sub>bara5</sub>	(MW)	2,49	2,43	2,36	2,3	2,22	2,16	2,21	2,22	2,26	2,2	2,12	1,99
Şebeke fiyatı	(bin₺ct/MW)	1,5	4	2	1,95	0,6	0,41	0,35	0,43	1,17	0,54	0,3	0,26

## 2. Beş Baralı Dağıtım Şebekesi (5 bus Distribution Network)

Bu çalışmada Şekil 1'de tek hat şeması gösterilen 5 baralı dağıtım şebekesi test sistemi olarak kullanılmıştır. Test sisteminde birinci bara ulusal dağıtım şebekesine bağlıdır. İkinci barada FV güneş enerji sistemi (FV, GES) ve yük, üçüncü barada enerji depolama elemanı (EDE) ve yük, dördüncü barada ise RES ve yük bulunmaktadır. Baralardan beslenen yükler gün boyunca değişen tüketim karakteristiklerine sahiptirler. Test sistemi 31.5 kV gerilim seviyesi ve 10 MVA taban görünür gücüne sahiptir.

Gün boyunca değişkenlik gösteren elektrik yükünün çıktığı maksimum değer 8 MW, FV ve RES güç üretim tesislerinden her birinin kurulu güçleri ise 4.5 MW'tır. Enerji depolama elemanının maksimum gücü 0.8 MW, minimum gücü -0.8 MW, dolun kapasitesi ise %90'lık şarj ve deşarj verimleri ile 4 MWh'tir. Yük verisi olarak

Çoruh Elektrik Dağıtım Şirketinden alınan, Trabzon'un Ortahisar ilçesi Kalkınma Mahallesi besleyen dört baranın verileri kullanılmıştır. FVGES ve RES üretim güçleri Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü Sürdürülebilir Enerji Uygulamaları Laboratuvarı'nda kurulu ölçüm sistemi ile kaydedilen güneş ışınımı ve rüzgâr hızı verilerinden elde edilmiştir. Bu çalışmada kullanılan ve gün öncesinden kestirimi yapıldığı varsayılan FVGES ve RES tesislerinin 24 saatlik güç değerleri, dağıtım şebekesi baralarının 24 saatlik yük güçleri ile [18] çalışmasından temin edilen ana şebekenin fiyat değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

## 3. Optimizasyon Problemi (Optimization Problem)

Gün öncesi planlamanın temel amacı güç sistemlerinde sonraki gün boyunca değişkenlik gösteren enerji talebinin ne kadarının hangi

saatte hangi enerji tedarikçisinden temin edileceğinin belirlenmesidir. Bunun için literatürde daha çok minimum aktif güç kaybı ile talebin karşılanacağı minimum işletme maliyeti koşulları en optimum sonuç olarak değerlendirilmiştir. Ancak çok amaçlı optimizasyon problemlerinde her amacın aynı ağırlık katsayısında olması ve olmaması durumlarına göre farklı çözümler ortaya çıkmaktadır. Bu farklı çözümler karar verici için daha çok seçenek oluşturmaktadır. Bu çalışmada çok amaçlı fonksiyon tanımlanmış, amaçların farklı ağırlıklarda ortaya çıkardıkları pareto optimal çözümler araştırılmıştır.

### 3.1. Amaç Fonksiyonu (Objective function)

Gün boyunca değişken enerji üretimi yapabilecek üretim birimleri ile değişken güç tüketen yük birimleri arasındaki enerjinin optimum planlanması problemi için şebekede Eş. 1'de verilen sabit katsayılı çok amaçlı fonksiyon oluşturulmuştur. Çok amaçlı fonksiyon sırasıyla aktif güç kaybı ve talebi karşılayacak enerjinin maliyetine ait fonksiyonlardan oluşmaktadır. Çok amaçlı fonksiyonda amaçların birimleri farklı olduğu için normalizasyon işlemi yapıldıktan sonra Eş. 1 de verilen F fonksiyonu oluşturulmuştur.

$$F = w \times P_{\text{kayıp}} + (1-w) \times C_{\text{toplam}} \quad (1)$$

Toplam aktif güç kaybı gün boyunca hatlarda oluşan güç kaybının toplamını ifade etmektedir. Toplam kayıp fonksiyonu Eş. 2 ile hesaplanmıştır.

$$P_{\text{kayıp}} = \sum_{t=1}^{24} \sum_{i=1}^{\text{hat}} \mathfrak{R}(S_{\text{kayıp}_i}) \quad (2)$$

Enerji maliyeti  $C_{\text{toplam}}$ , tedarikçisine bağlı olarak gün boyunca herhangi bir saatte alınacak enerji miktarının elektrik enerjisinin ücreti ile çarpılmasıyla elde edilen toplam maliyettir ve Eş. 3-4 ile ifade edilmiştir.

$$C_{\text{toplam}} = \sum_{t=1}^{24} C(t) \quad (3)$$

$$C(t) = C_{\text{anaşebeke}}(t) \times P_{\text{anaşebeke}}(t) + P_{\text{FV}}(t) \times C_{\text{FV}} + P_{\text{RES}}(t) \times C_{\text{RES}} + C_{\text{EDE}} \times |P_{\text{EDE}}(t)| \quad (4)$$

$C_{\text{FV}}$ ,  $C_{\text{RES}}$ ,  $C_{\text{EDE}}$  ve  $C_{\text{anaşebeke}}$  sırasıyla güneş, rüzgâr, enerji depolama elemanı ve ana şebekenin birim (MW) başına düşen fiyat değerleridir. Fiyatlandırma FV güç sistemi için 1 MWh 2,58 bin ₺'t, RES için 1,073 bin ₺'t ve EDE için 0,73 bin ₺'t olarak kullanılmıştır. Bu değerler [18] numaralı kaynaktan alınmıştır.

### 3.2. Kısıtlar (Constraints)

Bu bölümde optimizasyon problemine ait şebeke ve üretim birimleri için var olan kısıtlar açıklanmıştır. Kısıtlar Eş. 5-Eş. 13'te tanımlanmıştır.

Arz ve talebin her an birbirine eşit olması kısıtı: Elektrik enerji üretim birimlerinin toplam üreteceği güç ( $P_u$ ), talep edilen yük gücü ( $P_t$ ) ile kayıp gücünün ( $P_{\text{kayıp}}$ ) toplamına eşit olmalıdır.

$$P_u(t) = P_t(t) + P_{\text{kayıp}}(t) \quad (5)$$

Baraların gerilim kısıtı: Her bir baranın gerilimi ( $V_x$ ) referans gerilimden ( $V_{\text{ref}} = 1$  pu) maksimum %5'i kadar sapmasına müsaade edilir.

$$0,95 V_{\text{ref}} \leq V_x \leq 1,05 V_{\text{ref}} \quad (6)$$

Üretim birimlerinin kısıtları: Her bir üretim birimi kendisinden temin edilecek güç için maksimum bir değere sahiptir. Eş. 7'de FV güç tesisinden sağlanabilecek güç miktarı t saati için  $P_{\text{FV}}(t)$ , en fazla t saatindeki maksimum değeri ( $P_{\text{FVmax}}(t)$ ) kadar olabilir. Eş. 8'de RES güç tesisinden sağlanabilecek güç miktarı t saati için  $P_{\text{RES}}(t)$ , en fazla t saatindeki maksimum değeri ( $P_{\text{RESmax}}(t)$ ) kadar olabilir. Eş. 9'da herhangi bir saatte ana şebekeden alınacak güç miktarı ( $P_{\text{anaşebeke}}(t)$ ) en fazla ana şebeke için belirlenmiş maksimum değer ( $P_{\text{anaşebekemax}}(t)$ ) kadar olabilir.

$$0 \leq P_{\text{FV}}(t) \leq P_{\text{FVmax}}(t) \quad (7)$$

$$0 \leq P_{\text{RES}}(t) \leq P_{\text{RESmax}}(t) \quad (8)$$

$$0 \leq P_{\text{anaşebeke}}(t) \leq P_{\text{anaşebekemax}}(t) \quad (9)$$

Bataryanın güç ve enerji kısıtları: Enerji depolama elemanı bataryanın enerjisi  $E_{\text{bat}}$  (Wh), depolanan veya sağlanan güç miktarı  $P_{\text{bat}}$  (W), şarj ve deşarj verimleri de sırasıyla  $\eta_c$  ve  $\eta_d$  olmak üzere, batarya kısıtları Eş. 10'dan Eş. 12'ye kadar sıralanmıştır.  $E_{\text{bat}}^{\text{min}}$ , batarya maksimum enerjisinin 0,2 katı;  $E_{\text{bat}}^{\text{max}}$ , batarya maksimum enerjisinin 0,8 katıdır.

$$E_{\text{bat}}(t+1) = \begin{cases} E_{\text{bat}}(t) + \eta_c P_{\text{bat}}(t) \Delta t & \forall P_{\text{bat}} \geq 0 \\ E_{\text{bat}}(t) - \frac{P_{\text{bat}}(t)}{\eta_d} \Delta t & \forall P_{\text{bat}} \leq 0 \end{cases} \quad (10)$$

$$P_{\text{bat}}^{\text{min}} \leq P_{\text{bat}} \leq P_{\text{bat}}^{\text{max}} \quad (11)$$

$$E_{\text{bat}}^{\text{min}} \leq E_{\text{bat}} \leq E_{\text{bat}}^{\text{max}} \quad (12)$$

Hatların akım taşıma kısıtı: Her bir dağıtım hattının taşıyabileceği maksimum akım değeri ( $I_{\text{hat}}^{\text{max}}$ ) vardır ve Eş. 13 ile ifade edilir.

$$I_{\text{hat}} \leq I_{\text{hat}}^{\text{max}} \quad (13)$$

Yukarıda verilen kısıtlara göre F amaç fonksiyonunun en küçüklenmesi Eş. 14'teki gibi bir optimizasyon problemi ile ifade edilebilir. Optimizasyon probleminin karar değişkenleri 24 saatlik  $P_{\text{FV}}$ ,  $P_{\text{RES}}$ ,  $P_{\text{bat}}$  ve  $P_{\text{anaşebeke}}$  değerleridir.

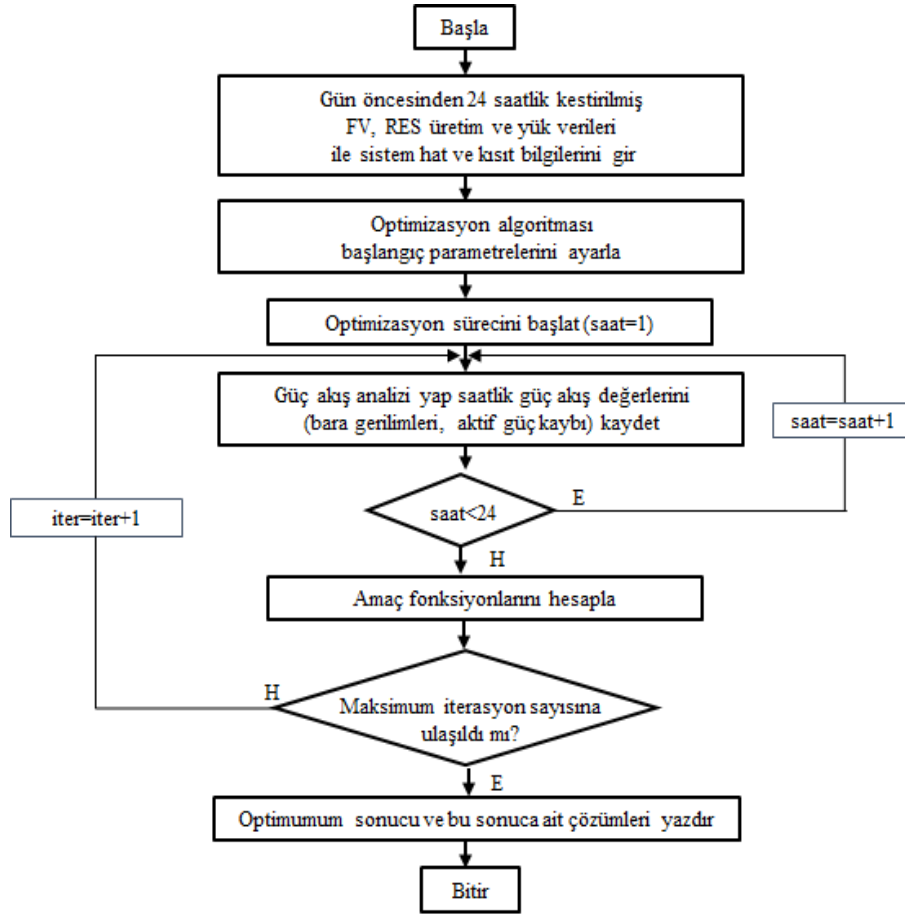
$$\min F = [P_{\text{kayıp}}, C_{\text{toplam}}] \quad (14)$$

### 3.3. Gün Öncesi Planlama Probleminin Çözümü İçin Önerilen Algoritma

(Proposed Algorithm For Solving Day Ahead Scheduling Problem)

Bir gün öncesi planlama probleminde olası çözümler ertesi gün için yapılan üretim birimlerinin üretim gücünün ve elektrik yükünün kestirimine, kullanılacak birimlere ait fiyatlandırma bilgilerine ve kısıtlara dayanmaktadır. Problemin çözümlerini elde etmek için önerilen algoritmanın akış diyagramı Şekil 2'de verilmiştir.

Test sistemindeki bara gerilimleri, hatların yüklenme bilgisi ve aktif güç kaybının belirlenmesi için Newton-Raphson güç akış analizi yöntemi kullanılmıştır. Her bir an arzın talebe eşit olabilmesi için optimizasyon algoritması ile üretilen çözümler her bir saat için değerlendirilmiştir. 24 saatin tamamı için işlem yapıldıktan sonra amaç fonksiyonu hesaplanmıştır. Maksimum iterasyon sayısına ulaşana kadar optimum çözümler araştırılmıştır. Optimizasyon sonucunda FV, RES, EDE ve ana şebeke birimleri için 24 saatlik güç değerleri elde edilmiştir.



Şekil 2. Önerilen algoritmanın akış diyagramı (Flowchart of the proposed algorithm)

#### 4. Optimizasyon Algoritmaları (Optimization Algorithms)

Bu çalışmada, gün öncesi optimum enerji planlaması probleminin çözümü için üç farklı optimizasyon algoritmasından faydalanılmıştır. Bu algoritmalar ağırlıklı toplam yöntemine dayalı çok amaçlı GKO algoritması, ağırlıklı toplam yöntemine dayalı çok amaçlı PSO algoritması ve ağırlıklı toplam yöntemine dayalı çok amaçlı SOS algoritmasıdır.

##### 4.1. Guguk Kuşu Optimizasyon Algoritması (Cuckoo Search Optimization, CSO)

Guguk kuşu algoritması, guguk kuşlarının bazı türlerinin sahip olduğu kuluçka asalaklığı ile Levy uçuşu olarak bilinen rastgele yürüyüş bilgisine dayanan, Yang ve Deb tarafından geliştirilmiş sezgisel bir algoritmadır [30].

Kuluçka asalaklığı türleri bulunan guguk kuşları, yabancı kuşların yumurtlamasını bekler ve yuvalarına kendi yumurtalarından bırakır. Yabancı kuşun yuvasından bir yumurtayı alarak kendi yavrularının kuluçkadan çıkma olasılığını artırmaya çalışır. Yabancı kuş kendisine ait olmayan yumurtayı fark ederse yabancı yumurtayı yuvadan atar ya da başka yerde yeni bir yuva yapar. Bazı guguk kuşları ise yumurtalarını, yabancı kuşların yumurtalarına renk ve şekil olarak benzeterek fark edilme ihtimalini azaltır. Tek amaçlı guguk kuşu algoritması üç kurala dayanmaktadır. Bunlardan birincisinde, her bir guguk kuşu rastgele seçilmiş bir yuvaya bir seferde sadece bir yumurta bırakır. İkincisinde, iyi yumurtalara sahip yuvalar gelecek

nesillere taşınır. Üçüncüsünde ise yabancı yuva sayısı sabittir ve guguk kuşu yumurtasının yabancı kuş tarafından fak edilmesi  $pa \in [0,1]$  olasılığı ile gerçekleşir. Fark edilen bu yuvalar rastgele üretilen yeni yuvalar ile değiştirilir [30]. Bu algoritmada yeni nesiller üretebilmek için Levy dağılımından faydalanılır. Yapılan çalışmada  $pa$ , parametresi 0.25, yuva sayısı 50 ve maksimum iterasyon sayısı 500 olarak seçilmiştir.

##### 4.2. Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritması (Particle Swarm Optimization Algorithm, PSO)

Balık, kuş ve böcek gibi sürüler halinde yaşayan hayvanların sosyal bilgi paylaşım davranışlarından esinlenerek oluşturulan PSO yöntemi Eberhart ve Kennedy tarafından önerilen sezgisel bir optimizasyon algoritmasıdır [31]. Popülasyon tabanlı olarak geliştirilen PSO algoritmasında öncelikle belirli sayıda parçacık arama uzayına rastgele yerleştirilir. Parçacıkların her biri kendi ve sürüdeki diğer parçacıkların davranışlarına bağlı olarak değişen bir hızda ilerlemektedir. Her bir parçacığın elde ettiği optimum değer  $P_{eni}$  olarak isimlendirilir ve bu değere ulaştıkları koordinatları tutmaktadırlar. Sürüdeki bütün bireylerin elde ettiği en iyi sonuç ise  $Geniyi$  olarak değerlendirilir. Sürüdeki bireyler arama uzayı bilgilerini birbirleriyle paylaşarak optimum sonuca ilerlerler.

D boyutlu bir arama uzayında bir çözüm olan  $i$ . parçacık  $x_i = [x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, \dots, x_{iD}]$  vektörüyle, bu parçacığın hızı  $v_i = [v_{i1}, v_{i2}, v_{i3}, \dots, v_{iD}]$ , bu parçacığın  $o$  ana kadarki en iyi konumu  $P_{eni} = [P_{i1}, P_{i2}, P_{i3}, \dots, P_{iD}]$

ve  $G_{eniye}$  sürüdeki en iyi çözüm olarak gösterilsin.  $i$ . parçacığın hızı Eş. 15'te gösterildiği gibi bir önceki iterasyondaki hız değeri,  $P_{eniye}$ 'ye olan uzaklığının olasılıksal ağırlığı ve  $G_{eniye}$ 'ye olan uzaklığının olasılıksal ağırlığı ile hesaplanır. Bu eşitlikte  $c_1$  ve  $c_2$  ivmelenme katsayıları,  $w$  eylemsizlik katsayısı,  $r_1$  ve  $r_2$   $[0,1]$  aralığında rastgele üretilen sayılar ve  $k$ , iterasyon sayısıdır. Parçacığın konumu ise bir önceki iterasyondaki konum değeri ile güncellenen hız değerinin toplamı ile Eş. 15'teki gibi hesaplanır.

$$V_{id}^{k+1} = wV_{id}^k + c_1r_1(P_{eniye_{id}} - X_{id}^k) + c_2r_2(G_{eniye_{id}} - X_{id}^k) \quad (15)$$

$$X_{id}^{k+1} = X_{id}^k + V_{id}^{k+1} \quad (16)$$

Bu çalışmada  $c_1$  ve  $c_2$  2 olarak,  $w$  eylemsizlik katsayısı 0.9, popülasyon sayısı 50 ve maksimum iterasyon sayısı 500 olarak seçilmiştir.

### 4.3. Simbiyotik Organizmalar Arama Algoritması (Symbiotic Organisms Search, SOS)

SOS, bir ekosistemde birlikte yaşayan iki farklı tür organizmanın birbirleri ile etkileşimlerini konu alan, Cheng ve Prayago tarafından geliştirilen sezgisel bir algoritmadır [32].

Bir ekosistemde birlikte yaşayan farklı türdeki canlılarda üç farklı birlikte yaşam etkileşimi görülmektedir. Bunlar iki türün de fayda sağladığı mutualizm, bir türün fayda sağladığı diğer türün bundan olumlu ya da olumsuz etkilenmediği kommensalizm ve bir türün fayda sağlarken diğer türün zarar gördüğü parazitizmdir. Bu üç etkileşim türü ile simule edilen SOS algoritması ile bir canlılık ilişkisi içerisinde olabileceği en uygun organizma aranır. İki türün de fayda sağladığı mutualizm aşaması rastgele üretilen organizmalar ( $x_i$  ve  $x_j$ ) ile başlatılır. Bu iki organizma yaşam avantajlarını karşılıklı olarak arttırmak amacıyla etkileşime girer. Bu aşamada Eş. 17 ve Eş. 18 ile yeni çözümler üretilir. Burada ortaklık vektörü (OV) ilişkinin özelliğini, fayda vektörü (FV) organizmaların edindiği faydanın ölçüsünü temsil eder. Eş. 19 ile verilen OV, iki çözümün ortalama değeridir.  $FV_1$  ve  $FV_2$  ise 1 veya 2 olarak rastgele belirlenir.

$$X_{iyeni} = X_i + r_1 (X_{eniye} - OV \times FV_1) \quad (17)$$

$$X_{jyeni} = X_j + r_2 (X_{eniye} - OV \times FV_2) \quad (18)$$

$$OV = (x_i + x_j) / 2 \quad (19)$$

Mutualizm evresinin sonucunda elde edilen yeni çözümlere göre yeni uygunluk değerleri hesaplanır, bu değerler önceki değerlerden daha optimum ise organizmalar güncellenir ve kommensalizm evresine geçilir. Komensalizm evresinde  $x_i$  ve  $x_j$  organizmalarından yalnızca bir tane fayda sağlar, diğeri bu etkileşimden etkilenmez.  $x_i$  için yeni çözümler Eş. 20 ile ifade edilir. Burada  $r$ , -1 ile 1 arasında üretilen rastgele bir sayıdır. Yeni  $x_i$  çözümü ile uygunluk değeri yeniden hesaplanır, bir önceki uygunluk değerinden daha iyi ise  $x_i$  güncellenir.

$$X_{iyeni} = X_i + r (X_{eniye} - X_j) \quad (20)$$

İki türden biri fayda sağlarken diğerinin zarar gördüğü parazitizm evresinde, arama uzayı sınırlarında parazit  $x_i$  vektörü rastgele oluşturulur,  $x_j$  organizması ile etkileşime giren  $x_i$ 'nin uygunluk değeri daha optimum ise  $x_j$ 'yi oradan kaldırır.

SOS algoritmasının diğer sezgisel algoritmalarla göre bazı avantajları vardır. Bu avantajlar şu şekilde ifade edilebilir: Mutualizm ve komensalizm evrelerinde yeni organizmalar oluşturulur ve bu da arama uzayında algoritmanın farklı çözümler keşfetme yeteneğinde olduğunu gösterir. Parazitlik aşamasının, algoritmanın yerel optimuma takılıp kalmasını önleyerek algoritmanın kullanım yeteneğini arttırmaktadır.

Bunlara ek olarak SOS algoritması popülasyon sayısı ve maksimum iterasyon sayısı olarak yalnızca iki genel parametreye sahiptir. Algoritmaya özel ayar parametrelerinin olmaması parametrelerin yanlış seçilip sonucun yerel minimuma takılma problemini ortadan kaldırmaktadır [26]. Bu çalışmada ekosistem sayısı 50 ve maksimum iterasyon sayısı 500 olarak seçilmiştir.

## 5. Sonuçlar ve Tartışmalar (Results and Discussions)

Sabit ağırlık katsayılı çok amaçlı optimizasyon problemlerinde ağırlık katsayısı,  $w$  amaç fonksiyonunda bulunan fonksiyonların önceliğini belirler. Bu çalışmada ağırlık katsayısı 0, 0,2, 0,4, 0,5, 0,6, 0,8 ve 1 olacak şekilde değiştirilerek test sisteminin çalıştırılabileceği optimal çözümler araştırılmıştır. Bu çözümler olası optimal çözümler olarak değerlendirilir ve karar verici için birer seçenek olarak kullanılır. Tablo 2'de ağırlık katsayısının değişmesi ile ÇAGKO, ÇAPSO ve ÇASOS algoritmalarının elde ettikleri optimal çözümler verilmiştir. Tablo 1'de algoritmaların elde ettiği sonuçlara göre ağırlık katsayısının değeri arttıkça aktif güç kaybının azaldığı işletme maliyetinin ise arttığı yani bu amaçların birbirleriyle çeliştiği görülmektedir.

**Tablo 2.** Ağırlık katsayısına göre ÇAGKO, ÇAPSO ve ÇASOS algoritmalarının elde ettikleri optimal sonuçlar (Optimal results obtained by MOCSO, MOPSO and MOSOS algorithms according to the weight coefficient)

w	ÇAGKO		ÇAPSO		ÇASOS	
	$P_{kayıp}(MW)$	$C_{toplam}(\text{bin } €)$	$P_{kayıp}(MW)$	$C_{toplam}(\text{bin } €)$	$P_{kayıp}(MW)$	$C_{toplam}(\text{bin } €)$
0	3,30	159,65	3,17	154,78	3,42	150,00
0.2	2,44	172,55	2,54	178,71	2,56	158,89
0.4	2,28	181,034	2,10	180,85	1,96	179,69
0.5	2,20	183,46	2,31	184,67	1,87	186,95
0.6	2,09	188,93	2,09	189,96	1,84	188,07
0.8	2,13	191,43	1,97	190,87	1,82	191,84
1	2,03	193,79	2,00	195,97	1,82	197,37

Elde edilen sonuçlara göre  $w=0$  yani minimum işletme maliyetinin araştırıldığı çözümlerde ÇAGKO 159,65 bin €, ÇAPSO 154,78 bin €, ÇASOS 150,00 bin € değerine ulaşmıştır. Minimum aktif güç kaybının araştırıldığı  $w=1$  senaryosunda ÇAGKO 2.03MW, ÇAPSO 2,00 MW ve ÇASOS 1,82 MW değerine ulaşmıştır. Her iki amaç için uzlaşılan çözüm olarak değerlendirilen  $w=0,5$  senaryosunda ise ÇAGKO algoritması ile kayıp için 2,20 MW, işletme maliyeti için 183,46 bin € değerlerine, ÇAPSO algoritması ile kayıp için 2,31 MW, işletme maliyeti için 184,67 bin € değerlerine, ÇASOS algoritması ile kayıp için 1,87 MW, işletme maliyeti için 186,95 bin € değerlerine yakınsamıştır. Daha optimum sonuçlara ulaşan ÇASOS algoritması ile elde edilen sonuçlara bakıldığında aktif güç kaybı amaç fonksiyonuna göre test sistemi, ağırlık katsayısının 0 olduğu çözümde 3,42 MW kayıp ile yönetilebilirken ağırlık katsayısı 1'e yaklaştıkça sırasıyla %25,14, %42,69, %45,32, %46,19, %46,72 ve %46,72 daha az kayıp ile yönetilebilir. Aktif güç kaybındaki bu azalmaya karşılık işletme maliyeti de sırasıyla %5,92, %19,79, %24,63, %25,38, %27,89, %31,58 artış göstermektedir.

Sabit ağırlık katsayılı ÇAGKO, ÇAPSO ve ÇASOS algoritmaları ile elde edilen optimal çözümler Şekil 3'te verilmiştir. Şekil 3'e göre ÇASOS algoritması ile elde edilen pareto cephesinin ÇAPSO ve ÇAGKO algoritmalarının elde ettiği çözümleri baskılamıştır. Başka bir deyişle ÇASOS algoritması her bir ağırlık katsayısında diğer optimizasyon algoritmalarına göre daha optimum sonuçlar ürettiğini göstermektedir.

ÇAGKO, ÇAPSO ve ÇASOS algoritmaları ile optimize edilen ve minimum işletme maliyetini veren ( $w=0$ ), minimum kayıp ( $w=1$ ) ile sistemin yönetilmesini sağlayan ve her iki amaç için uzlaşılan ( $w=0,5$ ) çözümü sunan operasyon planları, sırasıyla Şekil 4-Şekil 6'da gösterilmiştir.

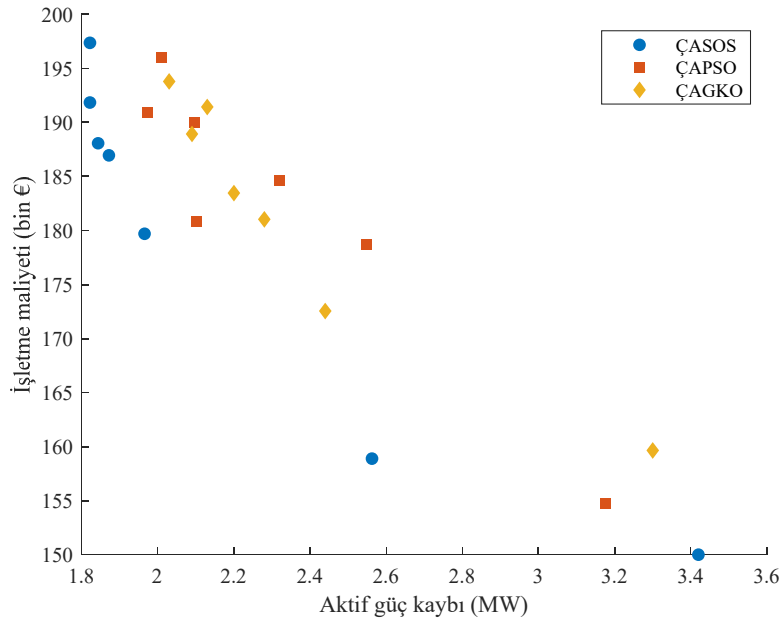
Şekil 4'te gösterilen operasyon planlarından ÇASOS algoritmasına ait senaryoda Tablo 2'de gösterildiği üzere işletme maliyeti diğerlerinden daha optimum değere sahiptir. Bu senaryosunda ( $w=0$ ) amaç minimum işletme maliyeti olduğu için FV ve RES gün içerisinde

özellikle ana şebekenin fiyatının dağıtık kaynakların fiyatından pahalı olduğu zamanlarda tercih edilmiştir. Ana şebeke fiyatının nispeten düşük olduğu zamanlarda batarya şarj edilerek şebeke fiyatının yüksek olduğu anlarda sisteme destek vermesi sağlanmıştır. Bu senaryoda dağıtık üretim kaynaklarına göre şebekenin fiyatı daha düşük kaldığı için gün boyunca FV ve RES kullanımına çok olanak tanınmamıştır. ÇAGKO algoritmasının sunduğu operasyon planına bakıldığında, şebekeden daha pahalı olan RES'in şebekenin ucuz olduğu saatlerde tercih edildiği, aynı durumun az da olsa ÇAPSO algoritması tarafından da tercih edilmiş olduğu görülmektedir.

Ayrıca ÇAGKO ile ÇAPSO algoritmaları bataryayı yük modunda daha çok tercih ederek talep miktarını dolayısıyla işletme maliyetini de artırmışlardır.

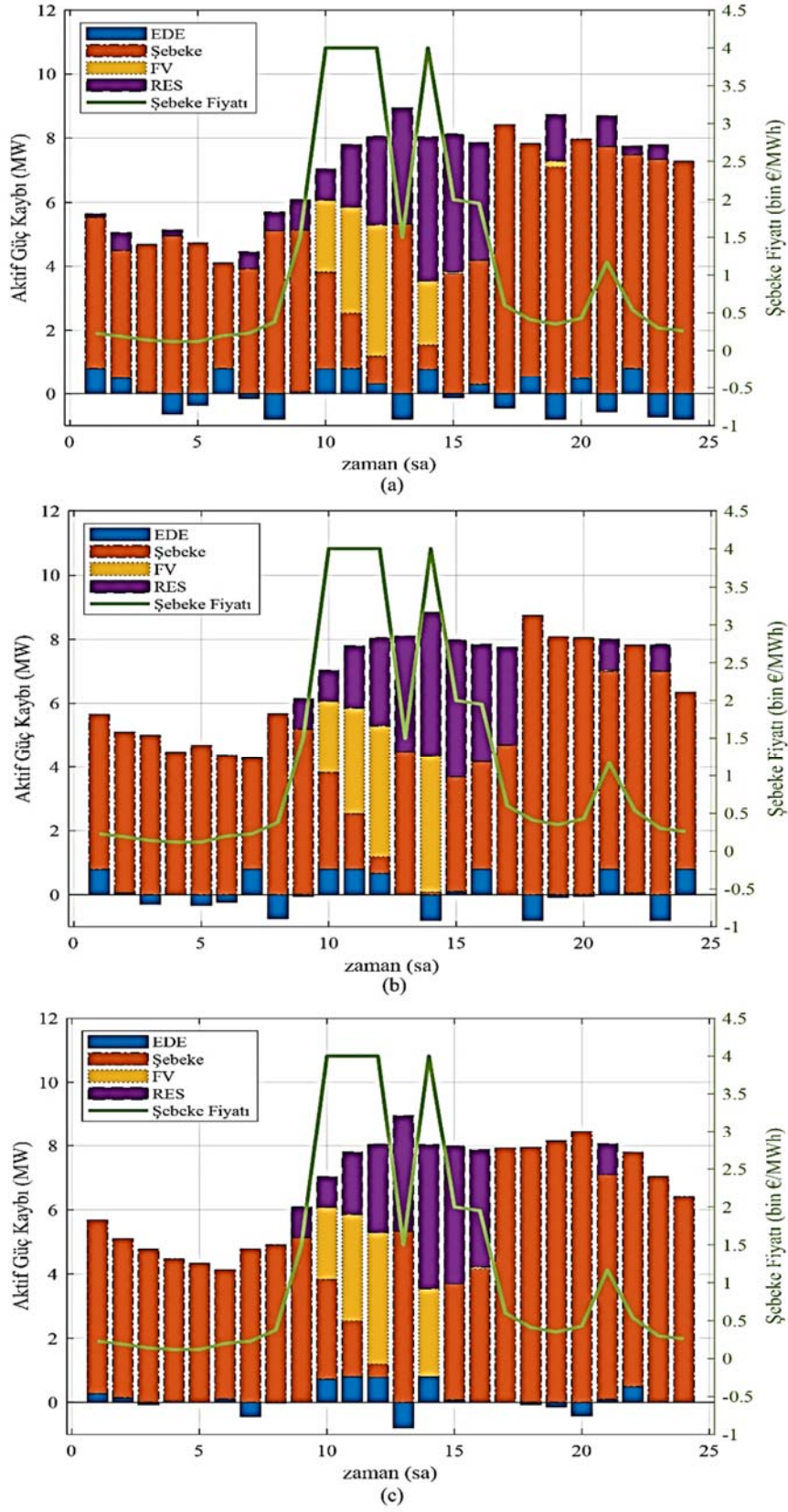
Şekil 5'te gösterilen  $w=0,5$  senaryosunda amaç fonksiyonunda minimum işletme maliyeti ve kayıp fonksiyonlarının her ikisini de aynı ağırlık katsayısıyla değerlendirilmiştir. Üç optimizasyon algoritmasının sunduğu operasyon planlarına göre amaç fonksiyonlarından kayıp fonksiyonunun da önem kazanmasından dolayı dağıtık enerji kaynakları  $w=0$  senaryosundaki planlara göre operasyonda daha çok yer edinmiştir. Enerjinin üretildiği yerde tüketilmesi ile yani dağıtık enerji kaynaklarının aktif olması şebekede oluşacak aktif güç kaybını azaltmıştır. Şebekenin ucuz olduğu zamanlarda dahi dağıtık enerji kaynakları operasyon planında her bir saatte yer almıştır.

Şekil 6'da gösterilen ve minimum kayıp ile şebekenin yönetimine olanak sağlayan  $w=1$  senaryosunda dağıtık enerji kaynakları diğer senaryolardan daha da aktif olmuş operasyon planında daha çok yer bulmuştur. Şebeke fiyatının veya diğer kaynakların fiyat bilgisinden bağımsız olarak dağıtık kaynaklar operasyon planında yer edinmiştir. Ana şebekenin tüketim birimlerine uzaklığı ve dağıtık enerji kaynaklarının tüketimin yanında yer alması sebebiyle dağıtık üretim kaynakları daha çok tercih edilmiştir. Şebekenin minimum, dağıtık kaynakların da maksimum kullanıldığı bu senaryo aktif güç kaybını en aza indiren sonucu vermiştir.

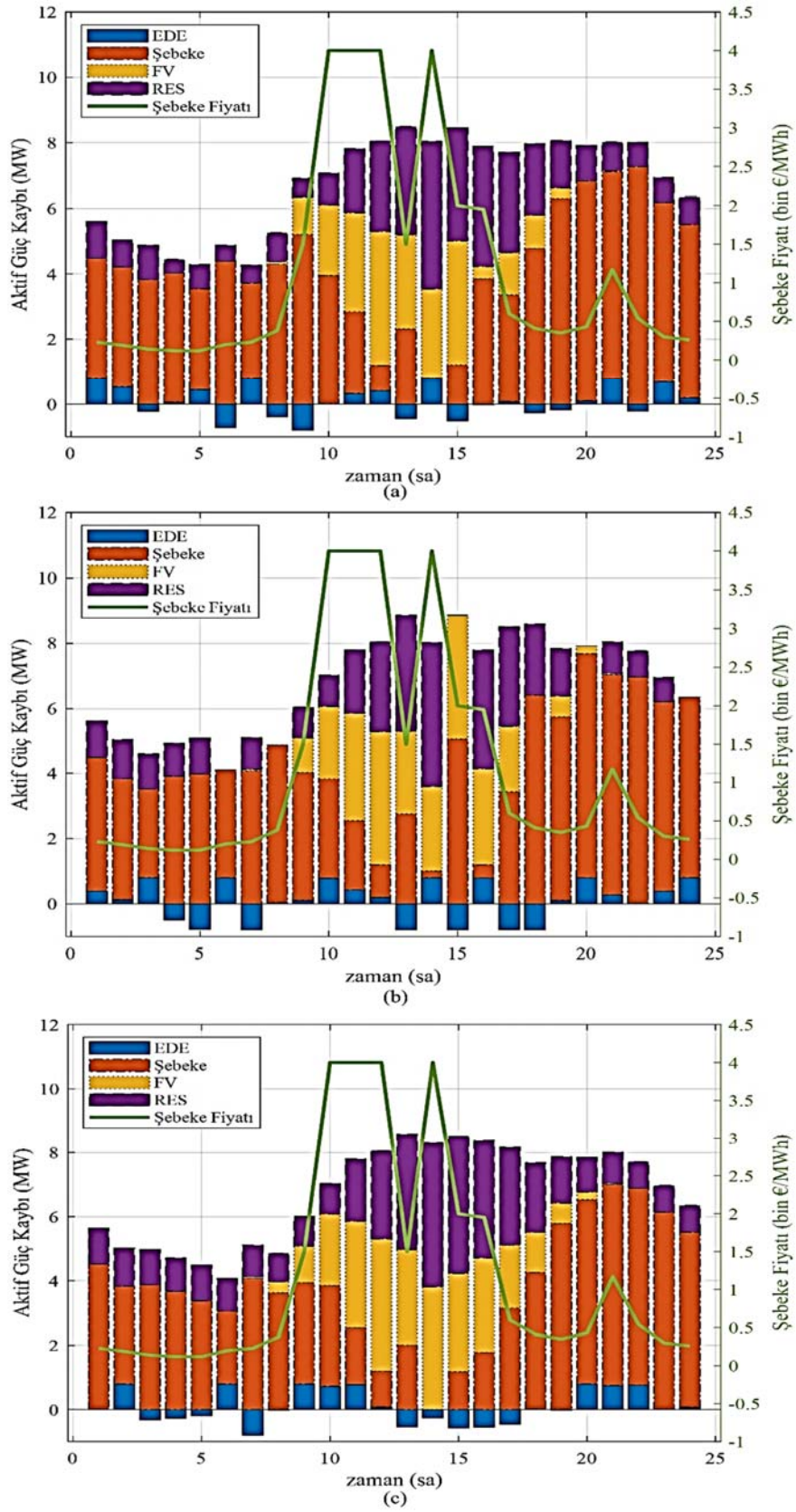


Şekil 3. Pareto optimal çözümler (Pareto optimal solutions)

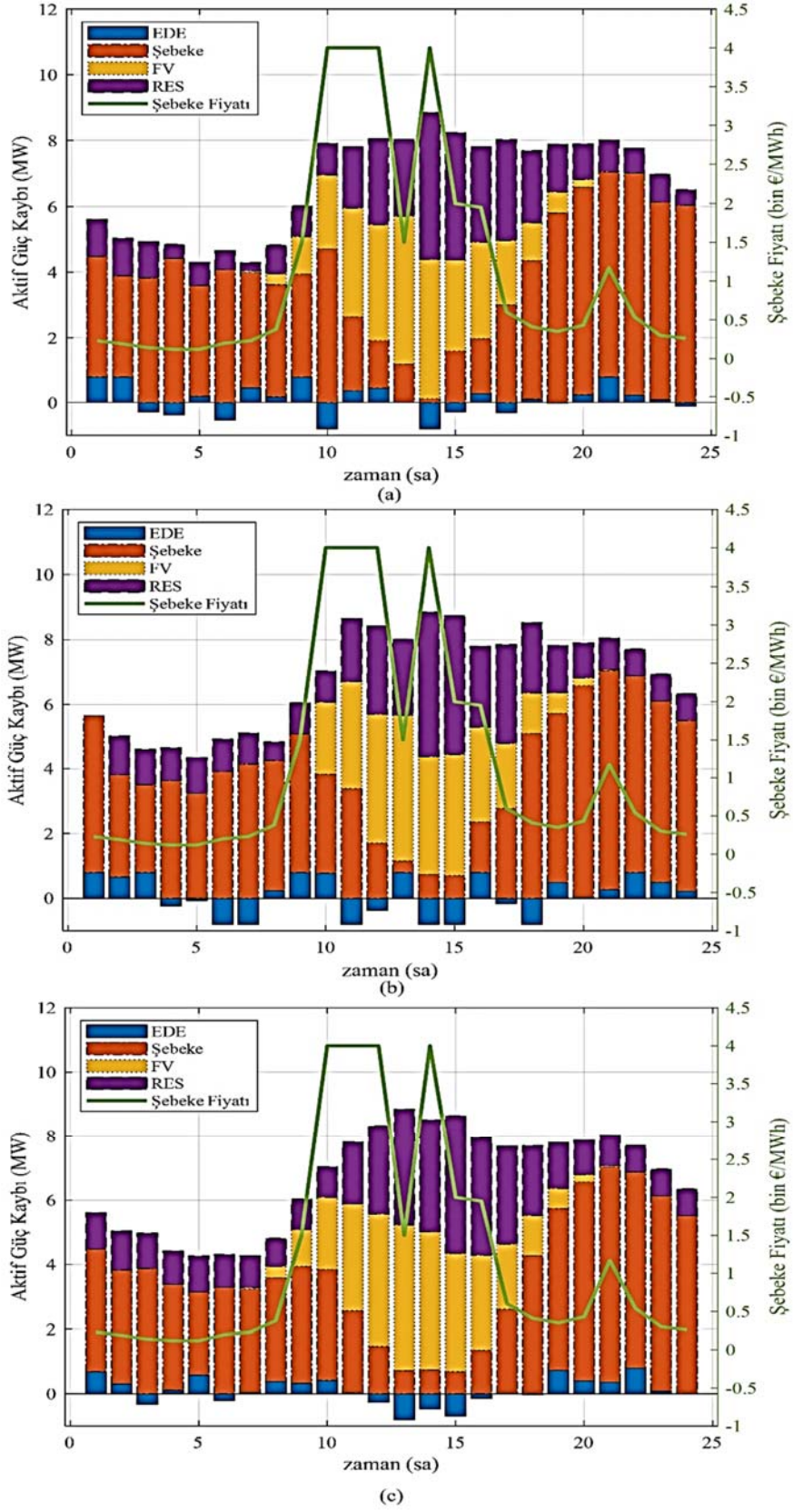




Şekil 4.  $w = 0$  durumunda elde edilen operasyon planları (a) ÇAGKO, (b) ÇAPSO, (c) ÇASOS (Operation plans obtained with (a) MOCSO, (b) MOPSO, (c) MOSOS for the case  $w = 0$ )



Şekil 5.  $w = 0,5$  durumunda elde edilen operasyon planları (a) ÇAGKO, (b) ÇAPSO, (c) ÇASOS (Operation plans obtained with (a) MOCSO, (b) MOPSO, (c) MOSOS for the case  $w = 0.5$ )



Şekil 6.  $w=1$  durumunda elde edilen operasyon planları (a) ÇAGKO, (b) ÇAPSO, (c) ÇASOS (Operation plans obtained with (a) MOCSO, (b) MOPSO, (c) MOSOS for the case  $w = 1$ )

## 6. Sonuçlar (Conclusions)

Çeşitli kaynaklar ile beslenen bir dağıtım hattı pek çok operasyon planı ile yönetilebilir. Belirlenen amaç fonksiyonlarına göre en optimal sonuç araştırılarak en iyi operasyon planı ortaya konulur. Bu çalışmada, 5 baralı bir dağıtım şebekesinde gün öncesi optimum enerji planlaması problemine çözüm sunan operasyon planları araştırılmıştır. Birbirleriyle çelişen iki amaç fonksiyonu olan işletme maliyeti ve aktif gücün farklı ağırlık katsayılarında sundukları optimal pareto çözümler araştırılmıştır. Optimal pareto çözümler ÇAGKO, ÇAPSO ve ÇASOS algoritmaları ile elde edilmiştir. Her bir algoritma başarılı bir şekilde test sistemine uygulanmış ve sonuçlar analiz edilmiştir. Ağırlıklı toplam yöntemine dayalı ÇASOS algoritması, ağırlıklı toplam yöntemine dayalı ÇAPSO ve ağırlıklı toplam yöntemine dayalı ÇAGKO algoritmalarından her bir ağırlık katsayısında daha optimum sonuçlar üretmiştir. Başka bir deyişle ÇASOS algoritması ile elde edilen pareto optimal cephe ÇAGKO ve ÇAPSO algoritmalar ile elde edilen cepheleri baskılamıştır. Minimum işletme maliyeti çözümü için ÇASOS algoritması ÇAGKO algoritmasına göre %6,04, ÇAPSO algoritmasına göre %3,08 daha optimum; minimum kayıp fonksiyonu senaryosunda ÇASOS Algoritması ÇAGKO algoritmasına göre %10,3, ÇAPSO algoritmasına göre % 9 daha optimum sonuçlar üretmiştir. Daha optimum sonuçlara ulaşan ÇASOS algoritması ile elde edilen sonuçlara bakıldığında aktif güç kaybı amaç fonksiyonuna göre test sistemi, ağırlık katsayısının 0 olduğu çözümde 3,42 MW kayıp ile yönetilebilirken ağırlık katsayısı 1'e yaklaştıkça sırasıyla %25,14, %42,69, %45,32, %46,19, %46,72 ve %46,72 daha az kayıp ile yönetilebilir. Aktif güç kaybındaki bu azalmaya karşılık işletme maliyeti de sırasıyla %5,92, %19,79, %24,63, %25,38, %27,89, %31,58 artış göstermektedir. Elde edilen pareto çözümler test sisteminin işletilmesine olanak sağlayacak en uygun çözümün belirlenmesine katkı sağlamaktadır.

## Kaynaklar (References)

- Hatzigargyriou N., Asano H., Iravani R., Marnay C., *Microgrids*, IEEE Power and Energy Magazine, 5 (4), 78-94, 2007.
- Barnes M. et al., *Real-World MicroGrids-An Overview*, 2007 IEEE International Conference on System of Systems Engineering, San Antonio, TX, USA, 1-8, 2007.
- Saeed M. H., Fangzong W., Kalwar B. A. and Iqbal S., *A Review on Microgrids' Challenges & Perspectives*, IEEE Access, 9, 166502-166517, 2021.
- Lasseter R. H., *Smart Distribution: Coupled Microgrids*, Proceedings of the IEEE, 99 (6), 1074-1082, 2011.
- Krata, J., Saha, T. K., *Real-time coordinated voltage support with battery energy storage in a distribution grid equipped with medium-scale PV generation*, IEEE Transactions on Smart Grid, 10 (3), 3486-3497, 2018.
- Zhang, Y., Meng, K., Luo, F., Yang, H., Zhu, J., & Dong, Z. Y., *Multi-agent-based voltage regulation scheme for high photovoltaic penetrated active distribution networks using battery energy storage systems*, IEEE Access, 8, 7323-7333, 2019.
- Laugs, G. A., Benders, R. M., Moll, H. C., *Balancing responsibilities: Effects of growth of variable renewable energy, storage, and undue grid interaction*, Energy Policy, 139, 111203, 2020.
- Wong, L. A., Ramachandaramurthy, V. K., Walker, S. L., Taylor, P., Sanjari, M. J., *Optimal placement and sizing of battery energy storage system for losses reduction using whale optimization algorithm*, Journal of Energy Storage, 26, 100892, 2019.
- Zhang, D., Shafiqullah, G. M., Das, C. K., Wong, K. W., *A systematic review of optimal planning and deployment of distributed generation and energy storage systems in power networks*, Journal of Energy Storage, 56, 105937, 2022.
- Rezvani, A., Gandomkar, M., Izadbakhsh, M., & Ahmadi, A., *Environmental/economic scheduling of a micro-grid with renewable energy resources*, Journal of cleaner production, 87, 216-226, 2015.
- Alam, M. S., Arefifar, S. A., *Energy management in power distribution systems: Review, classification, limitations and challenges*, IEEE Access, 7, 92979-93001, 2019.
- Shi W., Li N., Chu C. -C., Gadh R., *Real-Time Energy Management in Microgrids*, IEEE Transactions on Smart Grid, 8 (1), 228-238, 2017.
- Katiraei F., Iravani R., Hatzigargyriou N., Dimeas A., *Microgrids management*, IEEE Power and Energy Magazine, 6 (3), 54-65, 2008.
- Zhang, J., Zhu, X., Chen, T., Yu, Y., Xue, W., *Improved MOEA/D approach to many-objective day-ahead scheduling with consideration of adjustable outputs of renewable units and load reduction in active distribution networks*, Energy, 210, 118524, 2020.
- Raghav, L. P., Kumar, R. S., Raju, D. K., Singh, A. R., *Optimal energy management of microgrids using quantum teaching learning based algorithm*, IEEE Transactions on Smart Grid, 12 (6), 4834-4842, 2021.
- Yu, J., Ryu, J. H., & Lee, I. B., *A stochastic optimization approach to the design and operation planning of a hybrid renewable energy system*, Applied Energy, 247, 212-220, 2019.
- Dey, B., Bhattacharyya, B., Srivastava, A., Shivam, K., *Solving energy management of renewable integrated microgrid systems using crow search algorithm*, Soft Computing, 24 (14), 10433-10454, 2020.
- Luo, L., Abdulkareem, S. S., Rezvani, A., Miveh, M. R., Samad, S., Aljojo, N., Pazhoohesh, M., *Optimal scheduling of a renewable based microgrid considering photovoltaic system and battery energy storage under uncertainty*, Journal of Energy Storage, 28, 101306, 2020.
- Imtiaz, B., Cui, Y., Zafar, I., *Economic Dispatch of Microgrid Incorporating Demand Response Using Dragonfly Algorithm*, 2021 IEEE International Conference on Advances in Electrical Engineering and Computer Applications (AEECA), IEEE, 59-68, August, 2021.
- Xiaoluan, Z., Farajian, H., Xifeng, W., Ohshima, K., *Scheduling of renewable energy and plug-in hybrid electric vehicles based microgrid using hybrid crow—Pattern search method*, Journal of Energy Storage, 47, 103605, 2022.
- Zhang, J., Li, Z., Wang, B., *Within-day rolling optimal scheduling problem for active distribution networks by multi-objective evolutionary algorithm based on decomposition integrating with thought of simulated annealing*, Energy, 223, 120027, 2021.
- Zhao, F., Si, J., Wang, J., *Research on optimal schedule strategy for active distribution network using particle swarm optimization combined with bacterial foraging algorithm*, International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 78, 637-646, 2016.
- Tan, Y., Cao, Y., Li, Y., Lee, K. Y., Jiang, L., Li, S., *Optimal day-ahead operation considering power quality for active distribution networks*, IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, 14 (2), 425-436, 2016.
- Ilyas, M. A., Abbas, G., Alquthami, T., Awais, M., Rasheed, M. B., *Multi-objective optimal power flow with integration of renewable energy sources using fuzzy membership function*, IEEE Access, 8, 143185-143200, 2020.
- Hosseinnia, H., Modarresi, J., Nazarpour, D., *Optimal eco-emission scheduling of distribution network operator and distributed generator owner under employing demand response program*, Energy, 191, 116553, 2020.
- Baysal, Y. A., Ketenci, S., Altas, I. H., Kayikcioglu, T., *Multi-objective symbiotic organism search algorithm for optimal feature selection in brain computer interfaces*, Expert Systems with Applications, 165, 113907, 2021.
- Ozgenç, B., Ayas, M. S., Altas, I. H., *Performance improvement of an AVR system by symbiotic organism search algorithm-based PID-F controller*, Neural Computing and Applications, 1-10, 2022.
- Örneç, R. S., Ateş, O. K., Boğa, A. Y., Danayiyen, Y., *X-Band Pyramidal Horn Antenna Directivity Optimization with Symbiotic Organism Search Algorithm*. In 2023 5th Global Power, Energy and Communication Conference (GPECOM), IEEE, 519-523, 2023.
- Baysal, Y. A., Altaş, İ. H., *Power Quality Improvement Via Optimal Capacitor Placement In Electrical Distribution Systems Using Symbiotic Organisms Search Algorithm*, Mugla Journal Of Science And Technology, 3 (1), 64-68, 2017.
- Yang, X. S., & Deb, S., *Cuckoo search via Lévy flights*, In 2009 World congress on nature & biologically inspired computing (NaBIC), IEEE, 210-214, 2009.
- Kennedy, J., Eberhart, R., *Particle swarm optimization*, In Proceedings of ICNN'95-international conference on neural networks, IEEE, 4, 1942-1948, 1995.
- Cheng M. Y., Prayogo, D., *Symbiotic organisms search: a new metaheuristic optimization algorithm*, Computers & Structures, 139, 98-112, 2014.