

**YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARINI İÇEREN OPTİMAL
GÜÇ AKIŞI İÇİN UYGUNLUK MESAFE DENGESİ TABANLI
ÜÇGENLEME TOPOLOJİSİ TOPLAMA İYİLEŞTİRİCİSİ**

ALİ YAZICI

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK VE BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. UĞUR GÜVENÇ**

DÜZCE, 2024

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARINI İÇEREN OPTİMAL
GÜÇ AKIŞI İÇİN UYGUNLUK MESAFE DENGESİ TABANLI
ÜÇGENLEME TOPOLOJİSİ TOPLAMA İYİLEŞTİRİCİSİ**

Ali Yazıcı tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Uğur Güvenç

Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Uğur Güvenç

Düzce Üniversitesi

Prof. Dr. Cemal YILMAZ

Gazi Üniversitesi

Doç. Dr. M. Kenan DÖŞOĞLU

Düzce Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 24/07/2024

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

24 Temmuz 2024

Ali YAZICI

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek, anlayış, sabır ve yardımlardan dolayı çok değerli hocam ve tez danışmanım Prof. Dr. Uğur GÜVENÇ'e en içten duygularıyla teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca; özverili desteklerini esirgemeyen, çok değerli Arş. Gör. Dr. Enes KAYMAZ ve Arş. Gör. Yunus HINISLIOĞLU'na şükranlarımı sunarım.

Eğitim hayatım boyunca; ders aldığım, çalışmalarından, makalelerinden yararlandığım, ilim ve bilim dünyasına büyük fedakârlıklarla katkı sunan tüm hocalarıma hürmetle saygılarımı sunuyorum.

Hayatım her evresinde; yardımlarını, desteklerini, hoş görülerini ve sevgilerini esirgemeyen değerli aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

24 Temmuz 2024

Ali YAZICI

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÇİZELGE LİSTESİ	vi
KISALTMALAR.....	vii
SİMGELER	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT	x
1. GİRİŞ.....	1
2. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI ENTEGRELİ OPTİMAL GÜÇ AKIŞI	4
2.1. OPTİMAL GÜÇ AKIŞI PROBLEMİ.....	4
2.1.1. Kısıtlamalar	5
2.1.1.1. Eşitlik Kısıtlamaları	5
2.1.1.2. Eşitsizlik Kısıtlamaları.....	6
2.2. RÜZGAR ENERJİSİ.....	7
2.2.1. Rüzgar Gücü Maliyeti.....	7
2.2.2. Rüzgar Gücü Karakterizasyonu	10
2.3. GÜNEŞ ENERJİSİ	11
2.3.1. Güneş Gücü Maliyeti	11
2.4. AMAÇ FONKSİYONU	12
3. YÖNTEM VE METOT	13
3.1. ÜÇGENLEME TOPOLOJİSİ TOPLAMA İYİLEŞTİRİCİSİ	13
3.1.1. Başlatma.....	14
3.1.2. Üçgen Topolojik Birimlerin Oluşumu.....	14
3.1.3. Genel Toplama	16
3.1.4. Yerel Toplama	17
3.1.5. Algoritmanın Yürütme Akışı	18
3.2. UYGUNLUK MESAFE DENGESİ.....	19
3.3. ÖNERİLEN ALGORİTMA.....	20
4. BENZETİM SONUÇLARI.....	22
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	26
6. KAYNAKLAR	27
ÖZGEÇMİŞ.....	32

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 4.1. Sistemin termik jeneratörlerin maliyet ve emisyon katsayıları [3].....	22
Çizelge 4.2. Rüzgar enerjisi ve güneş enerjisi santrallerinin PDF parametreleri[31].....	22
Çizelge 4.3. IEEE 30-baralı durum 1.....	23
Çizelge 4.4. IEEE 30-baralı durum 2.....	24
Çizelge 4.5. ÜTTİ ve UMDÜTTİ algoritmalarının karşılaştırılması.....	25



KISALTMALAR

IEEE	The Institute of Electrical and Electronics Engineers
OGA	Optimal güç akışı
SHADE- SF	Uygun Kısıtlama İşleme Yönteminin Dahil Edildiği Uyarlanabilir Diferansiyel Evrin Algoritması
UMDÜTTİ	Uygunluk Mesafe Dengesi Tabanlı Üçgenleme Topolojisi Toplama İyileştiricisi
UMD ÜTTİ	Uygunluk Mesafe Dengesi Üçgenleme Topolojisi Toplama İyileştiricisi



SİMGELER

F	Amaç fonksiyonu
f_v	Uygunluk değeri
G	Eşitlik kısıtlaması fonksiyonu
h	Eşitsizlik kısıtlaması fonksiyonu
P	Aktif güç
S	İletim hattı yükü
u	Bağımsız değişkene ait vektör
V	Gerilim
x	Bağımlı değişkene ait vektör



ÖZET

YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARINI İÇEREN OPTİMAL GÜÇ AKIŞI İÇİN UYGUNLUK MESAFE DENGESİ TABANLI ÜÇGENLEME TOPOLOJİSİ TOPLAMA İYİLEŞTİRİCİSİ

Ali YAZICI

Düzce Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Ana bilim
Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Uğur GÜVENÇ

Temmuz 2024, 31 sayfa

Günümüzde talep edilen ve tüketilen enerji miktarında çok yoğun artışların olması ile birlikte, yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretiminde artışlar olmaktadır. Bir elektrik şebekesinde yenilenebilir enerji kaynaklarının dahil edilerek kullanılması, şebekenin ekonomik ve verimli çalışabilmesi için en uygun şekilde planlanması problemini de ortaya çıkarmaktadır. Bu tez çalışmasında, yenilenebilir enerji kaynaklarından olan rüzgâr ve güneş gücü entegreli güç sistemleri problemlerinden olan optimal güç akışı problemi ele alınmıştır. Optimal güç akışı problemi doğrusal olmayan yapıya ve çeşitli kısıtlamalara sahip olan, kontrol parametrelerinin en uygun değerlerinin belirlendiği bir optimizasyon problemidir. Ayrıca, güneş ve rüzgar enerjisinin doğasını birleştirmek problemin karmaşıklığını artırmaktadır. Bu tür problemlerin çözümünde yapay zeka tekniklerinden olan sezgisel arama algoritmaları tercih edilmektedir. Bu tez çalışmasında optimal güç akışı probleminin çözümü için Üçgenleme topolojisi toplama iyileştiricisi (ÜTTİ) algoritmasının öncelikle mesafe uygunluk dengesi tabanlı geliştirilmesi gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen algoritma rüzgar ve güneş enerji kaynaklarının dahil edildiği optimal güç akışı probleminde uygulanmış olup, literatürdeki farklı algoritmaların sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, önerilen algoritmanın bu güç sistemi probleminde etkili olduğunu açık bir şekilde göstermektedir.

Anahtar Sözcükler: Optimal Güç Akışı, Üçgenleme Topoloji Algoritması, Güneş enerjisi, Rüzgar enerjisi

ABSTRACT

FITNESS DISTANCE BALANCE BASED TRIANGULATION TOPOLOGY AGGREGATION OPTIMIZER FOR OPTIMAL POWER FLOW INCLUDING RENEWABLE ENERGY SOURCES

Ali YAZICI

Düzce University

Graduate School, Department of Electrical-Electronic and Computer Engineering

Master's Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Uğur Güvenç

July 2024, 31 pages

With the substantial increase in the amount of energy demanded and consumed today, there is also an increase in energy generation from renewable energy sources. Including renewable energy sources in an electrical grid and using them introduces the problem of planning the network in the most economical and efficient way. This thesis addresses the optimal power flow problem, which is one of the power system problems integrated with wind and solar power, both renewable energy sources. The optimal power flow problem is an optimization problem with a nonlinear structure and various constraints, where the best values of control parameters are determined. Additionally, combining the nature of solar and wind energy increases the complexity of the problem. Heuristic search algorithms, which are a type of artificial intelligence technique, are preferred in solving such problems. In this thesis, the Triangulation Topology Aggregation Optimizer (TTAO) algorithm was first developed based on distance adequacy balance for the solution of the optimal power flow problem. The developed algorithm was applied to the optimal power flow problem including wind and solar energy sources and compared with the results of different algorithms in the literature. The obtained results clearly show that the proposed algorithm is effective in this power system problem.

Keywords: Optimal Power Flow, Triangulation Topology Algorithm, Solar power, Wind power

1. GİRİŞ

Teknolojinin sürekli olarak gelişmesiyle birlikte talep edilen ve tüketilen enerji miktarında çok yoğun artış olmaktadır. Ayrıca elektrik enerjisinin üretiminde fosil yakıt kullanımının elektriksel güç talebinin artışıyla doğru orantılı olarak artması, doğaya verilen zararın da artmasına neden olmuştur. Günümüzde elektrik enerjisi ihtiyacının karşılanması ve doğaya verilen zararın azaltılması amacıyla yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ile enerji üretiminde artış durumu söz konusu olmuştur [1]. Dünyada en çok kullanılan ve tercih edilen yenilenebilir enerji kaynaklarının başında rüzgar gücü ve güneş enerjisi gelmektedir. Bir elektrik şebekesine yenilenebilir enerji kaynaklarının dahil edilmesi, şebekenin ekonomik ve verimli çalışabilmesi için en uygun şekilde planlanması problemini de ortaya çıkarmaktadır. Güç sistemlerinde en uygun işletim ve planlama süreçleri için en önemli problemlerden biri Optimal Güç Akışı (OGA) problemi olmuştur [2]. OGA probleminde temel amaç, çeşitli kısıtlar dikkate alınarak ve sistem güvenliği de ön planda tutularak, istenilen amaç doğrultusunda çalışması sağlanacak olan sistemin en uygun değişken parametrelerinin belirlenmesidir [3].

OGA problemi, yıllardır araştırmacıların ilgisini çekmiş ve problemin en iyi çözümünü bulmak için çok sayıda farklı yöntem uygulanmıştır. İlk olarak araştırmacılar OGA problemini çözmek için çeşitli matematiksel yöntemler uygulamışlardır. Bunların özellikle, iç nokta yöntemi [4] lineer ve lineer olmayan programlama [5], kuadratik programlama [6] gibi yöntemler olduğu görülmektedir. Ancak, OGA probleminin lineer olmayan ve kompleks özelliklerinden dolayı bu tür yöntemlerden başarılı sonuçlar alınamamaktadır. Matematiksel yöntemlerle en uygun çözüm bulunamamasından dolayı ve hesaplama süresi dezavantajlarını ortadan kaldırmak amacıyla, yapay zekanın alt dallarından olan sezgisel arama algoritmaları OGA probleminin çözümünde araştırmacılar tarafından kullanılmaya başlanmıştır. Bu algoritmaların temellerini genetik algoritma [7], geliştirilmiş genetik algoritma [8], tabu arama [9], parçacık sürüsü [10] ve diferansiyel evrim algoritması [11] oluşturmaktadır.

Bununla birlikte, son yıllarda, artan ekonomik ve çevresel nedenlerden dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarının dahil edildiği OGA probleminin çözülmesi için

araştırmacılar tarafından çok sayıda farklı çalışma yapılmıştır [12-30]. Özellikle 2017 yılında Partha P. Biswas ve arkadaşlarının [31] yapmış rüzgar ve güneş enerjisinin dahil edilmiş olduğu öncü bir çalışma bulunmaktadır. Araştırmacılar bu çalışmalarında, rüzgar dağılımını Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonu ile güneş ışınımı ise lognormal PDF kullanarak modellemişlerdir. Çalışmada, IEEE-30 baralı güç sistemi, reaktif güç özelliklerine sahip rüzgar generatörlerini ve güneş enerjisi PV'sini barındıracak şekilde değiştirilmiştir. OGA probleminin çözümü için de uygun kısıtlama işleme yönteminin dahil edildiği uyarlanabilir diferansiyel evrim algoritmasını (SHADE-SF) önermişlerdir. Günümüzde, sezgisel arama algoritmalarının optimizasyon problemlerinde kullanılması amacıyla yeni algoritmaların geliştirilmesi devam etmektedir. 2024 yılında Zhao ve arkadaşları tarafından, üçgen topolojik benzerlikten ilham alan ve farklı boyutlara sahip benzer üçgen topolojik birimlerin bir araya getirilmesiyle oluşturulan Üçgenleme Topolojisi Toplama İyileştiricisi (ÜTTİ) [32] ismi verilen yeni bir algoritma önerilmiştir. Yapılan bu tez çalışmasında, ÜTTİ algoritması yenilenebilir enerji kaynaklarının dahil edildiği OGA probleminin çözümü için önerilmiştir. Ayrıca, algoritma arama uzayında tuzaklara takıldığı için, algoritmadaki keşif ve sömürü dengesinin iyileştirilmesi amacıyla Kahraman ve arkadaşları tarafından geliştirilen Uygunluk Mesafe Dengesi (UMD) [33] tabanlı iyileştirme yöntemi kullanılmıştır. Benzetim alışmaları IEEE-30 bara sisteminde güneş ve rüzgar enerjilerinin dahil edilmesiyle elde edilen sistemde test edilmiştir. Elde edile sonuçlar, önerilen algoritmanın bu güç sistemi probleminde etkili olduğunu açık bir şekilde göstermektedir.

Buna göre tez çalışmasının geri kalanı şu şekilde devam etmektedir:

- Bölüm 2’de, yenilenebilir enerji kaynakları entegreli OGA problemi detaylı olarak açıklanmıştır. Rüzgar ve güneş enerji santrallerinin stokastik güç modeli ve maliyet hesaplamaları, çalışmada kullanılan amaç fonksiyonu, problemin eşitlik ve eşitsizlik kısıtlamaları da yine bu bölümde açıklanmıştır.
- Bölüm 3’te, ÜTTİ algoritmasının temel adımları ve matematiksel modelinin oluşturulması hakkında bilgiler verilmiş, algoritmanın geliştirilmesinde kullanılan yöntem olan UMD seçim yöntemi açıklanmış ve geliştirilen UMDÜTTİ yöntemi detaylı olarak tanıtılmıştır.
- Bölüm 4’te, UMDÜTTİ algoritmasının performansını test etmek için kapsamlı bir çalışma sunulmuştur. Rüzgar ve güneş gücü entegreli OGA probleminin çözümünde

iki farklı test durumu için IEEE-30 baralı bir güç sisteminde gerçekleştirilen analizde, geliştirilen UMDÜTTİ algoritması ÜTTİ ve SHADE-SF algoritmaları ile karşılaştırılmış ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

Son olarak Bölüm 5'te, tez çalışmasında elde edilen sonuçlar, genel bir bakış açısıyla değerlendirilmiş ve gelecekteki çalışmalar için önerilere yer verilmiştir.



2. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI ENTEGRELİ OPTİMAL GÜÇ AKIŞI

Teknolojik gelişmelerin ilerlemesiyle birlikte elektrik enerjisi üretiminin talep edilen miktarı karşılması ve üretilen enerjinin kullanıcılarla buluşturulması karmaşık bir sistem oluşturmaktadır. Güç sistemlerinin yüksek verimde çalışması için güç akışı hesaplamalarının yapılması ve en uygun parametrelerin elde edilmesi, çözülmesi gereken önemli bir optimizasyon problemi haline gelmiştir. Bu optimizasyon problemi, Optimal Güç Akışı (OGA) problemi olarak adlandırılır. Bu bölümde OGA problemi, rüzgar gücü ve güneş enerjisi tanıtılmış; rüzgar gücünün ve güneş enerjisinin optimal güç akışına dahil edilmesiyle oluşturulan farklı problem çeşitleri açıklanmıştır.

2.1. OPTİMAL GÜÇ AKIŞI PROBLEMİ

Bir sistemde en verimli güç akışını sağlamak ve bu doğrultuda uygun yöntemi bulmak, oldukça uğraştırıcı ve önem arz eden bir konudur. Bu problemi aşmak, sistemle ilgili verilen parametreler ve kısıtlamalar dahilinde en iyi sonuca varmak için yapılan çalışmaların bütünüyle mümkündür. Sistemde, doğrusal ve konveks olmayan iyileştirme problemini, verilen belirli parametrelere göre, eşitlik ve eşitsizlik sınırlamalarına bağlı kalarak en iyi kontrol parametrelerinin belirlenmesi işlemine Optimal Güç Akışı (OGA) problemi denilmektedir [11]. OGA problemi genel olarak aşağıda yer alan denklemler ile ifade edilir:

$$\min F(x,u) \quad (2.1)$$

$$g(x,u) = 0 \quad (2.2)$$

$$h(x,u) \leq 0 \quad (2.3)$$

Yukarıda yer alan formüllerde mevcut olan x ve u ifadeleri sırasıyla bağımlı ve bağımsız değişkenlerin oluşturduğu vektörleri ifade etmektedir. $F(x,u)$, minimum değeri elde edilmek istenilen amaç fonksiyonunu, $g(x,u)$ ve $h(x,u)$ fonksiyonları ise sırasıyla

eşitlik sınırlarını ve eşitsizlik kısıtlarını tanımlayan fonksiyonlardır. x vektörü; salınım barasında yer alan generatörün aktif gücü P_{G1} , yük bara gerilimini V_L , generatörün reaktif gücü Q_G ve iletim hattı yükü S_l şeklinde tanımlanan bağımlı değişkenlerden oluşur ve Denklem (2.4)'teki gibi ifade edilir:

$$x = [P_{G1}, V_{L1} \dots V_{LN}, Q_{G1} \dots Q_{GNG}, S_{I1} \dots S_{INL}] \quad (2.4)$$

Yük bara sayısı, gerilim kontrollü generatör bara sayısı ve iletim hattı sayısı sırasıyla LN , NG ve NL şeklinde ifade edilmiştir.

Aynı şekilde u vektörü de; PV baralarındaki generatörlerin aktif gücü P_G , generatör bara gerilimleri V_G , şönt kapasiteleri Q_C ve transformatör kademe ayarları T şeklinde tanımlanan bağımsız değişkenlerden oluşur ve Denklem (2.5)'teki gibi ifade edilir:

$$u = [P_{G2} \dots P_{GNG}, V_{G1} \dots V_{GNG}, Q_{C1} \dots Q_{CNC}, T_1 \dots T_{NT}] \quad (2.5)$$

Gerilim kontrollü generatör bara sayısı, kapasitanslı bara sayısı ve transformatörlü bara sayısı sırasıyla NG , NC ve NT şeklinde ifade edilmiştir.

2.1.1. Kısıtlamalar

Sistemin istenen düzeyde verimli çalışması için, sistemde kullanılan elemanların belirlenen kurallar çerçevesinde çalışması esastır. Bu kurallar, eşitlik ve eşitsizlik kısıtlamaları olmak üzere ikiye ayrılır.

2.1.1.1. Eşitlik Kısıtlamaları

Denklem (2.2)' de g olarak genel bir formülle belirtilen eşitlik kısıtlamaları aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$P_{Gi} - P_{Di} - V_i \sum_{j=1}^{NB} V_j [G_{ij} \cos(\delta_i - \delta_j) + B_{ij} \sin(\delta_i - \delta_j)] = 0 \quad (2.6)$$

$$Q_{Gi} - Q_{Di} - V_i \sum_{j=1}^{NB} V_j [G_{ij} \sin(\delta_i - \delta_j) - B_{ij} \cos(\delta_i - \delta_j)] = 0 \quad (2.7)$$

2.1.1.2. Eşitsizlik Kısıtlamaları

Denklem (2.3)'te h ifadesiyle sembolize edilen eşitsizlik kısıtlamaları, güç sistemlerinin çalışmasında etken olan generatör, transformatör, şönt kapasite ve iletim hattına bağlı gerilim ve yük değerlerinin belirlenen sınır aralıkları içinde kalması şeklinde ifade edilebilir. OGA'nın en verimli sağlanabilmesi için, sistem elemanları için belirlenen değerler sınırlarında çalışması zorunludur. Dört ana başlık altında saydığımız sistem elemanlarının kısıtlamalarını şöyle tanımlayabiliriz.

a. Generatör kısıtlamaları

Aktif ve reaktif güçlerinin sınırlamaları:

$$V_{Gi}^{min} \leq V_{Gi} \leq V_{Gi}^{max}, \quad i = 1, 2, \dots, NG \quad (2.8)$$

$$P_{Gi}^{min} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi}^{max}, \quad i = 1, 2, \dots, NG \quad (2.9)$$

$$Q_{Gi}^{min} \leq Q_{Gi} \leq Q_{Gi}^{max}, \quad i = 1, 2, \dots, NG \quad (2.10)$$

şeklinde tanımlanır. V_{Gi}^{min} ve V_{Gi}^{max} i generatörünün minimum ve maksimum bara gerilimi değerini, P_{Gi}^{min} ve P_{Gi}^{max} i generatörünün sırasıyla minimum ve maksimum aktif güç değerlerini, Q_{Gi}^{min} ve Q_{Gi}^{max} i generatörünün minimum ve maksimum reaktif güç değerlerini ifade eder.

b. Transformatör kısıtlamaları

Kademe ayar sınırlamaları:

$$T_i^{min} \leq T_i \leq T_i^{max}, \quad i = 1, 2, \dots, NT \quad (2.11)$$

şeklinde tanımlanır. T_i^{min} ve T_i^{max} i transformatörünün minimum ve maksimum kademe değerlerini ifade eder.

c. Şönt Kapasite kısıtlamaları

Şönt kapasite sınırlamaları:

$$Q_{Ci}^{min} \leq Q_{Ci} \leq Q_{Ci}^{max}, \quad i = 1, 2, \dots, NC \quad (2.12)$$

şeklinde tanımlanır. Q_{Ci}^{min} ve Q_{Ci}^{max} i barasının şönt kapasite değerinin minimum ve maksimum değerlerini ifade eder.

d. Güvenlik kısıtlamaları

Bu kısımda, yük baralarının gerilim değerleri ve iletim hattının akış değerlerinin limit sınırları belirlenir:

$$V_{Li}^{min} \leq V_{Li} \leq V_{Li}^{max}, \quad i = 1, 2, \dots, LN \quad (2.13)$$

$$S_{li} \leq S_{li}^{max}, \quad i = 1, 2, \dots, NL \quad (2.14)$$

şeklinde tanımlanır. V_{Li}^{min} ve V_{Li}^{max} i barasının minimum ve maksimum gerilimlerini, S_{li}^{max} i iletim hattının maksimum akış limitini ifade eder.

2.2. RÜZGAR ENERJİSİ

Rüzgar hareketinin sahip olduğu kinetik enerjiye bağlı olarak ortaya çıkan enerji, rüzgar enerjisi olarak adlandırılır. Ortaya çıkan enerji, mekanik ve elektrik enerjisine dönüştürülür ve yaygın olarak kullanılır. Rüzgar enerjisi, yenilenebilir bir enerji kaynağıdır ve çevreye zararlı bir atık yaymayan temiz bir enerjidir. Günümüzde rüzgar enerjisi genellikle elektrik üretiminde kullanılmaktadır. Fosil yakıtların doğaya ciddi şekilde zarar vermesi ve küresel ısınmanın etkilerini arttırması ve bu kaynağın rezervleri tükenmesi ile birlikte daha temiz ve tükenmeyen güneş, rüzgar, su, biyogaz gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimi yaygınlaşmıştır. Rüzgar enerjisi de günümüz enerji sistemleri arasında bu bakımdan önemli bir konumdadır.

2.2.1. Rüzgar Gücü Maliyeti

Genel olarak OGA problemleri sistemde termal generatör olduğunda uygulanır. Termal generatörlü sistemlerde elektrik enerjisi üretiminde kullanılan yakıtlar, optimal güç akışı problemleri arasında en önemlilerinden biri olan maliyet hesabına doğrudan etkilidir. Son zamanlarda çevresel faktörlerin de etkisiyle termal generatörlere alternatif olarak büyük enerji sistemlerine entegre edilen yenilenebilir enerji kaynaklarından olan rüzgar türbinleri de kullanılabilir. Termal generatörlerin aksine rüzgar türbinleri enerji üretiminde herhangi bir yakıt kullanmadıkları için, maliyet hesaplamaları farklı

parametreler yardımıyla yapılmaktadır [21]. Rüzgar santrallerinin maliyet hesabı yapılırken rüzgar santrallerinden gelen asıl gücün tahmin edilenden daha az olması durumu, fazla tahmin (overestimation) maliyeti ve rüzgar santrallerinden gelen asıl gücün tahmin edilenden daha fazla olması durumu, az tahmin (underestimation) maliyeti olarak iki farklı durum göz önünde bulundurulur [22].

Rüzgar gücünün maliyet hesaplama formülü Denklem (2.15)'teki gibi tanımlanabilir:

$$C_W = \sum_{j=1}^{NW} (P_W \text{Cost}_{dir,j} + P_W \text{Cost}_{oe,j} + P_W \text{Cost}_{ue,j}) \quad (2.15)$$

Formüldeki $P_W \text{Cost}_{dir,j}$ ifadesi rüzgar gücünün maliyetini, $P_W \text{Cost}_{oe,j}$ ve $P_W \text{Cost}_{ue,j}$ ifadeleri ise j . rüzgar gücü generatörünün fazla ve az tahmin maliyetlerini diğer bir deyişle ayrılmış ve ceza maliyetini temsil eder. Rüzgar gücü maliyeti Denklem (2.16)'daki gibi tanımlanabilir:

$$P_W \text{Cost}_{dir} = \sum_{j=1}^{NW} (q_j \times w_j) \quad (2.16)$$

q_j ve w_j simgeleri sırasıyla elektrik enerjisi maliyet katsayısını (\$/MW) ve j . rüzgar generatörünün üretilen gerçek gücünü (MW) temsil eder [22].

Fazla tahmin maliyeti Denklem (2.17)'deki gibi tanımlanabilir:

$$P_W \text{Cost}_{oe} = \sum_{j=1}^{NW} (C_{rwj} \times E(Y_{oe,j})) \quad (2.17)$$

C_{rwj} ve $E(Y_{oe,j})$ ifadeleri j . rüzgar generatörünün fazla tahmin maliyet katsayısını ve beklenen değerini temsil eder. Fazla tahmin için rüzgar generatörünün beklenen değeri daha ayrıntılı olarak:

$$\begin{aligned}
E(Y_{oe,j}) = & w_j \left[1 - \exp\left(-\frac{v_{in,j}^{K_j}}{C_j^{K_j}}\right) + \exp\left(-\frac{v_{out,j}^{K_j}}{C_j^{K_j}}\right) \right] \\
& + \left(\frac{w_{r,j} v_{in,j}}{v_{r,j} - v_{in,j}} + w_j \right) \left[\exp\left(-\frac{v_{in,j}^{K_j}}{C_j^{K_j}}\right) - \exp\left(-\frac{v_{1,j}^{K_j}}{C_j^{K_j}}\right) \right] \\
& + \left(\frac{w_{r,j} C_j}{v_{r,j} - v_{in,j}} \right) \left[\Gamma\left(1 + \frac{1}{K_j}, \left(\frac{v_{1,j}}{C_j}\right)^{K_j}\right) - \Gamma\left(1 + \frac{1}{K_j}, \left(\frac{v_{in,j}}{C_j}\right)^{K_j}\right) \right]
\end{aligned} \tag{2.18}$$

şeklinde ifade edilir [22].

Az tahmin maliyeti Denklem (2.19)'daki gibi tanımlanabilir:

$$P_W \text{Cost}_{ue} = \sum_{j=1}^{NW} \left(C_{pwj} \times E(Y_{ue,j}) \right) \tag{2.19}$$

C_{pwj} ve $E(Y_{ue,j})$ ifadeleri j . rüzgar generatörünün az tahmin maliyet katsayısını ve beklenen değerini temsil eder. Burada, az tahmin rüzgar generatörünün beklenen değeri Denklem (2.20)'deki gibi ifade edilir:

$$\begin{aligned}
E(Y_{ue,j}) = & (w_{r,j} - w_j) \left[\exp\left(-\frac{v_{r,j}^{K_j}}{C_j^{K_j}}\right) - \exp\left(-\frac{v_{out,j}^{K_j}}{C_j^{K_j}}\right) \right] \\
& + \left(\frac{w_{r,j} v_{in,j}}{v_{r,j} - v_{in,j}} + w_j \right) \left[\exp\left(-\frac{v_{r,j}^{K_j}}{C_j^{K_j}}\right) - \exp\left(-\frac{v_{1,j}^{K_j}}{C_j^{K_j}}\right) \right] \\
& + \left(\frac{w_{r,j} C_j}{v_{r,j} - v_{in,j}} \right) \left[\Gamma\left(1 + \frac{1}{K_j}, \left(\frac{v_{1,j}}{C_j}\right)^{K_j}\right) - \Gamma\left(1 + \frac{1}{K_j}, \left(\frac{v_{r,j}}{C_j}\right)^{K_j}\right) \right]
\end{aligned} \tag{2.20}$$

Denklem (2.18) ve Denklem (2.20)'de geçen ifadeler:

- e. $\Gamma(\cdot)$ tamamlanmamış gama fonksiyonunu,
- f. K_j , C_j j . rüzgar generatörünün Weibull dağılımına ait biçim ve ölçek çarpanını,
- g. v_r, v_{in}, v_{out} rüzgarının nominal, devreye girme ve devreden çıkma hızlarını,
- h. v_1 aracı parametreyi $v_1 = v_{in} + (v_r - v_{in}) w_1 / w_r$

i. w_j ve $w_{r,j}$ j . rüzgar generatörünün üretilen ve nominal gücü

temsil eder.

2.2.2. Rüzgar Gücü Karakterizasyonu

Rüzgar gücü kullanan sistemlerde , rüzgarın hızının kontrol edilmesi en önemli konudur. Çünkü , doğada rüzgarın hızı belirsizdir ve her şiddette olabilir. Weibull dağılımı, rüzgar hızını kontrol etmenin yaygın olarak kullanıldığı yöntemlerden biridir [21]. Weibull dağılımı Denklem (2.21)'deki gibi tanımlanabilir:

$$f_v(v) = \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} e^{-(v/c)^k}, \quad 0 < v < \infty \quad (2.21)$$

Formülde v rüzgar hızının olasılığını, k ve c sırasıyla biçim ve ölçek çarpanını temsil eder [23].

Weibull dağılımının ortalaması:

$$\mu = c\Gamma\left(1 + k^{-1}\right) \quad (2.22)$$

şeklinde tanımlanabilir. Formüldeki gama fonksiyonu $\Gamma(x)$ ise Denklem (2.23)'te belirtilmiştir.

$$\Gamma(x) = \int_0^{\infty} t^{x-1} e^{-t} dt \quad (2.23)$$

gibidir. Rüzgar generatörünün rüzgar hızına göre fonksiyonu Denklem (2.24)'te belirtildiği

$$P_w(v) = \begin{cases} 0 & , \quad v < v_{in} \text{ ve } v > v_{out} \\ P_{wr} \left(\frac{v - v_{in}}{v_r - v_{in}} \right) & , \quad v_{in} \leq v \leq v_r \\ P_{wr} & , \quad v_r < v \leq v_{out} \end{cases} \quad (2.24)$$

Formüldeki rüzgar hızı, devreye girme hızından düşük ve devreden çıkma hızından büyük ise çıkış gücü sıfır olur. Eğer rüzgar hızı, nominal hız ve devreden çıkma hızının arasında

ise çıkış gücü nominal güce eşittir. Bu belirli sınırlar için, olasılıklar:

$$f_w(p_w)\{p_w = 0\} = 1 - \exp\left[-\left(\frac{v_{in}}{c}\right)^k\right] + \exp\left[-\left(\frac{v_{out}}{c}\right)^k\right] \quad (2.25)$$

$$f_w(p_w)\{p_w = p_{wr}\} = \exp\left[-\left(\frac{v_r}{c}\right)^k\right] - \exp\left[-\left(\frac{v_{out}}{c}\right)^k\right] \quad (2.26)$$

şeklinde verilebilir. Denklem (2.24)'teki rüzgar hızı, devreye girme hızı ve nominal hız arasında ise olasılık formülü:

$$f_w(p_w) = \frac{k(v_r - v_{in})}{c^k * p_{wr}} \left[v_{in} + \frac{p_w}{p_{wr}}(v_r - v_{in}) \right]^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{v_{in} + \frac{p_w}{p_{wr}}(v_r - v_{in})}{c}\right)^k\right] \quad (2.27)$$

şeklinde hesaplanabilir [23].

2.3. GÜNEŞ ENERJİSİ

Geleneksel termik enerji jeneratörlerinin aksine, güneş enerjisi jeneratörleri yakıt gerektirmez. Güneş PV santrallerinin bağımsız sistem operatörüne (ISO) ait olduğu durumda, ISO, güneş PV santralleri için ilk harcamaya bir miktar geri ödeme maliyeti atamak veya bunu bir bakım ve yenileme maliyeti olarak atamak istemediği sürece, güneş PV santralleri yakıt gerektirmediğinden maliyet fonksiyonu mevcut olmayabilir [24]. Ancak, güneş enerjisi santralleri özel taraflara ait olduğunda, ISO sözleşmeyle kararlaştırılan planlanmış güce orantılı bir fiyat öder.

2.3.1. Güneş Gücü Maliyeti

Rüzgar enerjisi santrali gibi, güneş enerjisi santrali de kesintili ve belirsiz çıktıya sahiptir. Prensip olarak, güneş enerjisinin fazla ve eksik tahminine yaklaşım rüzgar enerjisi ile aynı olacaktır. Bununla birlikte, güneş ışınımı, Weibull PDF'sini takip ettiği bilinen rüzgar dağılımından farklı olarak lognormal PDF [25] izlediğinden, hesaplamada kolaylık sağlamak için rezerv ve ceza maliyeti modelleri [9]'da sunulan konseptte dayalı olarak

oluşturulmuştur. k 'nıncı güneş PV santrali için rezerv maliyeti şöyledir:

$$\begin{aligned} C_{Rs,k} (P_{ss,k} - P_{sav,k}) &= K_{Rs,k} (P_{ss,k} - P_{sav,k}) \\ &= K_{Rs,k} * f_s (P_{sav,k} < P_{ss,k}) * [P_{ss,k} - E(P_{sav,k} < P_{ss,k})] \end{aligned} \quad (2.28)$$

Burada, $K_{Rs,k}$ k 'nıncı güneş enerjisi santraline ait rezerv maliyet katsayısı, $P_{sav,k}$ aynı santralden elde edilen gerçek kullanılabilir güçtür. $f_s(P_{sav,k} < P_{ss,k})$ güneş enerjisi açığı oluşma olasılığıdır. $E(P_{sav,k} < P_{ss,k})$, planlanan güçten ($P_{ss,k}$) daha düşük güneş PV gücü beklentisidir. k 'nıncı güneş enerjisi santralinin düşük tahmin edilmesi için ceza maliyeti şöyledir:

$$\begin{aligned} C_{Ps,k} (P_{sav,k} - P_{ss,k}) &= K_{Ps,k} (P_{sav,k} - P_{ss,k}) \\ &= K_{Ps,k} * f_s (P_{sav,k} > P_{ss,k}) * [E(P_{sav,k} > P_{ss,k}) - P_{ss,k}] \end{aligned} \quad (2.29)$$

Burada, $K_{Ps,k}$ k 'nıncı güneş enerjisi santraline ait ceza maliyeti katsayısı, $f_s(P_{sav,k} > P_{ss,k})$ planlanan güçten ($P_{ss,k}$) fazla güneş enerjisi gücü olasılığı, $E(P_{sav,k} > P_{ss,k})$ $P_{ss,k}$ 'nın üzerindeki güneş enerjisi gücü beklentisidir.

2.4. AMAÇ FONKSİYONU

OGA probleminde kullanılmak üzere iki amaç fonksiyonu kullanılmıştır. Bunlardan birincisi, tüm maliyet fonksiyonlarını içerecek şekilde olup emisyon maliyeti dahil edilmemiş haliyle aşağıdaki denklemde sunulmuştur.

$$\begin{aligned} F_1 &= C_T (P_T G) + \sum_{j=1}^{N_{WG}} [C_{w,j} (P_{ws,j}) + C_{RW,j} (P_{ws,j} - P_{wav,j}) + C_{Pw,j} (P_{wav,j} - P_{ws,j})] \\ &+ \sum_{k=1}^{N_{SG}} [C_{s,k} (P_{ss,k}) + C_{Rs,k} (P_{ss,k} - P_{sav,k}) + C_{Ps,k} (P_{sav,k} - P_{ss,k})] \end{aligned} \quad (2.30)$$

İkinci amaç fonksiyonu olarak da karbon vergisi uygulandığında üretim maliyetini görmek için, emisyon maliyetinin eklendiği aşağıda verilen denklem oluşturulmuştur [31].

$$F_2 = F_1 + C_{tax} E \quad (2.31)$$

3. YÖNTEM VE METOT

Bu tez çalışmasında OGA Probleminin çözümde kullanılmak üzere Üçgenleme Topolojisi Toplama İyileştiricisi (ÜTTİ) algoritması ve mesafe uygunluk dengesi algoritması tabanlı geliştirilmiş hali önerilmiştir.

3.1. ÜÇGENLEME TOPOLOJİSİ TOPLAMA İYİLEŞTİRİCİSİ

Üçgen düzlem geometrisindeki en temel grafiklerdir. Sonlu veya sonsuz boyutlu bir uzayda üçgen bir topoloji, 2 boyutlu alt uzayının altındaki bir grafik olarak kabul edilebilir. Bazı kapalı sistemlerde üçgen diğer topolojilerden daha basit ve daha karardır. Bu avantaj nedeniyle, birçok alan genellikle araştırma nesnesini üçgen topolojik birimlere böler ve tanımlama ve analiz için çeşitli modeller oluşturur [34, 35].

Üçgen benzerliği geometrinin en önemli özelliklerinden biridir. Bir çokgen, hesaplamalı geometri ve bilgisayar bilimi için önemli bir uygulama değeri olan bir üçgen birleşiminden oluşabilir [36,37]. Ayrıca pratik mühendislik uygulamalarında ölçülmesi zor olan yükseklik veya mesafe problemi benzer üçgenler kullanılarak çözülebilir. Görüntü tanıma için, benzer üçgenlerin karşılık gelen köşeleri arasındaki mesafeye göre iki özelliğin ilişkili olup olmadığına da karar verilebilir.

- Yeni oluşan üçgenin, orijinal üçgenin bir kenarına paralel bir kenarı vardır ve bu çizginin uzatma çizgisi, orijinal üçgene benzer şekilde diğer kenarları veya her iki tarafın uzatma çizgilerini keser;
- İki üçgenin karşılık gelen kenarlarının oranları ve açıları eşitse, iki üçgen benzer kabul edilebilir;
- Karşılık gelen kenarları eşit oranda olan bir üçgen başka bir üçgene benzer;
- İki üçgenin açıları eşitse iki üçgen benzerdir.

Önerilen ÜTTİ algoritması benzer üçgenlere dayanmaktadır. Yinelemeli evrimle, arama uzayında sürekli olarak yeni köşe noktaları oluşturulur ve farklı boyutlarda benzer üçgenler oluşturmak için kullanılır.

3.1.1. Başlatma

İlk olarak, ÜTTİ algoritması optimizasyon sürecini başlatmak için popülasyonu başlatır. Popülasyon büyüklüğü N ve değişken boyut D verilmiştir. Üçgen topolojik birimdeki her köşe bir arama aracısını temsil eder. ÜTTİ algoritmasında, birey sayısı N , $\lfloor N/3 \rfloor$ üçgen topolojik birimlere bölünebilir; burada $\lfloor \cdot \rfloor$, aşağı yuvarlanmayı gösterir. Ekstra bireyler arama uzayında rastgele oluşturulur. Başlatma aşamasında uygun bölgede rastgele $\lfloor N/3 \rfloor$ etmenleri üretilir ve her bireyin ürettiği matematiksel ifade şu şekilde hesaplanır:

$$\overline{X}_{i,1} = r_0 \times (\overline{UB} - \overline{LB}) + \overline{LB} \quad (3.1)$$

burada $\overline{X}_{i,1}$ i'inci üçgen topolojik birimdeki ilk aranan bireyi temsil eder ve i , 1 ile $\lfloor N/3 \rfloor$ arasında pozitif bir tamsayıdır. r_0 , $[0, 1]$ arasında rastgele bir sayıyı belirtir; \overline{LB} ve \overline{UB} değişkenlerin alt ve üst sınırlarıdır ve matematiksel ifadeleri şu şekilde tanımlanabilir:

$$\overline{LB} = [lb_1, \dots, lb_D] \quad (3.2)$$

$$\overline{UB} = [ub_1, \dots, ub_D] \quad (3.3)$$

3.1.2. Üçgen Topolojik Birimlerin Oluşumu

Belirli bir problemin boyutu genellikle 2'den büyük olduğundan, ÜTTİ algoritmasında yalnızca her iki boyutlu yüzeyin bir eşkenar üçgen olması garanti edilir. Üçgen topolojik birimlerin oluşumu, kutupsal bir koordinat ile sıradan bir koordinat sistemi arasındaki dönüşümü kullanır [38]. Uzunluğu $l * \vec{f}$ olan yeni bir yön vektörü, küresel bir koordinat sisteminde başlangıç köşesi olarak birinci köşe kullanılarak yerleştirilir ve ikinci köşeyi oluşturmak için trigonometrik fonksiyonla sıradan bir koordinat sistemine dönüştürülür.

Uzunluğu $l * \vec{f}$ olan yön vektörü saat yönünün tersine $\pi/3$ döndürülür ve ardından üçüncü tepe noktasını elde etmek için koordinat sistemi tarafından dönüştürülür. Bu köşelerin ifadesi şu şekilde yazılabilir:

$$\overline{X}_{i,2} = \overline{X}_{i,1} + l * \vec{f}(\theta) \quad (3.4)$$

$$\overrightarrow{X_{i,3}} = \overrightarrow{X_{i,1}} + l * f\left(\overrightarrow{\theta + \frac{\pi}{3}}\right) \quad (3.5)$$

burada l , matematiksel olarak şu şekilde ifade edilen üçgen bir topolojik birimin boyutunu temsil eder:

$$l = 9 * e^{-1/T} \quad (3.6)$$

Denklem (3.4)'de, T maksimum yineleme sayısını belirtir. Tekrar sayısı arttıkça l azalır. İlk aşamalarda birim, küresel aramaya odaklanmak için daha geniş bir arama aralığı oluşturabilir. Daha sonraki aşamalarda toplanıp umut verici bir yönde derinden gelişir. Üçgen topolojik birimin daha sonraki iterasyonlarda da üretilebilmesini sağlamak için l değeri 0'a düşmeyecektir. Bu kurulum aynı zamanda aşırı kullanımın yerel bir ekstremum noktasında sıkışıp kalmasını da önler ve ilk noktanın yönlendirdiği diğer iki kenarın yön vektörlerini temsil eder. Denklem (3.5) ile hesaplanır.

$$\begin{aligned} f(\vec{\theta}) &= [\cos \theta_1, \cos \theta_2, \dots, \cos \theta_{D-1}, \cos \theta_D] \\ f\left(\overrightarrow{\theta + \frac{\pi}{3}}\right) &= \left[\cos\left(\theta_1 + \frac{\pi}{3}\right), \dots, \cos\left(\theta_{D-1} + \frac{\pi}{3}\right), \cos\left(\theta_D + \frac{\pi}{3}\right) \right] \end{aligned} \quad (3.7)$$

Burada $\vec{\theta} = [\theta_1, \dots, \theta_D]$ ve θ_j ($j = 1, \dots, D$) $[0, \pi]$ arasındaki rastgele sayılardır.

Üçgen topolojik birimlerin her bir grubu dahili olarak dördüncü köşede toplanır. Bu nokta, bireysel bilgilerin kullanılması için doğrusal ağırlıklı bir şekilde oluşturulmuştur. Dördüncü köşe şu şekilde tanımlanır:

$$\overrightarrow{X_{i,4}} = r_1 * \overrightarrow{X_{i,1}} + r_2 * \overrightarrow{X_{i,2}} + r_3 * \overrightarrow{X_{i,3}} \quad (3.8)$$

burada r_1 , r_2 ve r_3 , $[0, 1]$ arasında rastgele sayılardır ve $r_1 + r_2 + r_3 = 1$ 'dir. Dolayısıyla dördüncü arama aracı her üçgen topolojik birimin içindedir.

Her yinelemenin başlangıcında, bir tepe noktasından ve aynı uzunluktaki iki kenardan yeni benzer üçgen topolojik birim elde edilir ve yinelemeler sırasında kenar uzunluğu dinamik olarak değişir. Her üniteye en iyi tepe noktası, her yinelemede öncü tepe

noktası olarak düşünülebilir ve bu, her ünite için diğer bireylerin evrimine rehberlik eder. Ayrıca diğer köşeler de en iyi köşeye göre oluşturulur.

Daha sonra ikinci köşe trigonometrik fonksiyonla normal koordinat sistemine dönüştürülür. Birinci köşe ve ikinci köşeden oluşan sabit uzunluktaki vektör 60° yani $l * [\theta_1 + \pi/3, \theta_2 + \pi/3]$ döndürülür ve üçüncü köşeyi elde etmek için sıradan bir koordinat sistemine dönüştürülür. Koordinat sisteminin mutlaka standart koordinat sistemi olması gerekmediğini ve dolayısıyla θ 'nın rastgele üretildiğini ve yalnızca cos fonksiyonu tarafından düzenlendiğini belirtmekte fayda vardır. İlk üç köşe dördüncü köşeyi oluşturacak şekilde doğrusal olarak ağırlıklandırılır. 3 boyutlu uzay için kutupsal koordinattaki $l * [\theta_1, \theta_2, \theta_3]$ ve $l * [\theta_1 + \pi/3, \theta_2 + \pi/3, \theta_3 + \pi/3]$ vektörleri ikinci köşeyi ve üçüncü köşeyi elde etmek için sıradan bir koordinat sistemine dönüştürülür. θ 'nın rastgeleliği nedeniyle, t zamanındaki her üçgen topolojik birim aynı boyutu ve yönü, yani uyumu gösterir. Farklı zamanlar için üçgen topoloji ünitesinin yönü dönüşten sonra tutarlıdır. Eğer üçgensel zaman birimi t, üçgensel zaman birimi t+1'deki bir tepe noktasına aktarılırsa, ikisi dönme açısından benzerdir. Daha sonra, her grup içindeki veya üçgen topolojik birimlerin farklı grupları arasındaki bireyler, küresel aramayı ve yerel madenciliği gerçekleştirmek için bilgi alışverişinde bulunabilir.

3.1.3. Genel Toplama

Genel toplama, keşif aşamasına vurgu yapar. Bu aşamada farklı üçgen birimlerdeki iyi bireylerin bilgileri toplanır ve yeni uygulanabilir çözümler üretilir. Bilgi etkileşimi, her üçgen topolojik birimdeki en iyi birey ile rastgele seçilen herhangi bir birim kümesindeki en iyi birey arasında meydana gelir. GA'daki gen geçişinden esinlenerek [7], bir bilgi etkileşim mekanizması özelleştirilmiştir. İki pozitif bireyin her boyut değişkeni arasında farklı ağırlıkların doğrusal bir kombinasyonu vardır. Yeni birey, matematiksel olarak şu şekilde ifade edilen daha iyi iki köşe bağlantısında üretilir:

$$\overrightarrow{X_{i,new}^{t+1}} = r_4 * \overrightarrow{X_{i,best}^t} + (1-r_4) * \overrightarrow{X_{rand,best}^t} \quad (3.9)$$

burada r_4 , $[0, 1]$ arasında rastgele bir sayıdır. $\overrightarrow{X_{i,best}^t}$ ve $\overrightarrow{X_{rand,best}^t}$, i birimi için en iyi bireyi ve t'inci yinelemede rastgele seçilen bir birimi belirtir. Ayrıca, $\overrightarrow{X_{i,new}^{t+1}}$ 'nin uygunluk değeri, optimal veya optimal altı arama ajanı ile karşılaştırılır ve optimal ajan

güncellenir. Bir minimizasyon problemi varsayarak, (t+1)'inci iterasyonda güncellenen optimal ve alt-optimal bireylerin matematiksel ifadeleri şu şekildedir:

$$\begin{cases} \overrightarrow{X_{i,best}^{t+1}} = \overrightarrow{X_{i,new1}^{t+1}} & f_{\overrightarrow{X_{i,new1}^{t+1}}} < f_{\overrightarrow{X_{i,best}^t}} \\ \overrightarrow{X_{i,sbest}^t} = \overrightarrow{X_{i,new1}^{t+1}} & f_{\overrightarrow{X_{i,new1}^{t+1}}} < f_{\overrightarrow{X_{i,sbest}^t}} \end{cases} \quad (3.10)$$

Burada $\overrightarrow{X_{i,sbest}^t}$ i'inci yinelemedeki optimal olmayan bireyi temsil eder. $f(\cdot)$ verilen problemin bir fonksiyonudur.

Optimal ajanın ve optimal olmayan ajanın güncellenmesinde, bir birimdeki her köşenin sayısı, uygunluk değerinin sıralamasını temsil eder. Gruplar arasındaki bilgi alışverişi, popülasyon çeşitliliğini artırmaya ve bireylerin yeterince keşfetmesine olanak sağlamaya yardımcı olur.

3.1.4. Yerel Toplama

Yerel toplama esas olarak sömürü aşamasını vurgulamaktadır. Bu aşamada üçgen topolojik birimler dahili olarak toplanır. Bir önceki aşamadan sonra güncellenen optimal veya alt-optimal bireyler ile gruptaki iyi uygunluk değerlerine sahip iki köşe arasında geçici olarak üçgen bir topoloji oluşturulur. Bu durumda topolojinin eşkenar üçgen olması şart değildir. Optimal bireyin konumu, optimal ve optimal olmayan bireylerin oluşturduğu hareket vektörü farkına bağlı olarak yerel bir bölge (hem yön hem de adım boyutu açısından) tarafından bozulur. Böylece, her topolojik üçgen biriminin kullanımını gerçekleştirmek için her grup belirli bir yerel alanda yeniden araştırılır.

Yeni tepe noktası şu şekilde hesaplanır:

$$\overrightarrow{X_{i,new2}^{t+1}} = \overrightarrow{X_{i,best}^{t+1}} + \alpha * \left(\overrightarrow{X_{i,best}^{t+1}} - \overrightarrow{X_{i,sbest}^{t+1}} \right) \quad (3.11)$$

burada α azalması toplama kapsamı boyutunu ayarlamayı sağlar. α şu şekilde hesaplanabilir:

$$\alpha = \ln \left(\frac{e - e^3}{T - 1} t + e^3 - \frac{e - e^3}{T - 1} \right) \quad (3.12)$$

İdeal olmayan bireysel bilgiyi kullanmanın amacı, optimal bireyin yerel bir uç noktaya hapsolmesini önlemektir. Toplama sonrasında, geçici üçgen ünitesinin başlangıç noktasının ünite içerisinde optimal olması garanti edilmelidir. Yakınsamanın umut verici bir yönde gelişmesini sağlamak için, yerel arama öncesi ve sonrası iki tepe noktasının uygunluk değerleri, güncellenmenin belirlenmesi amacıyla karşılaştırılır.

Yakınsamanın umut verici bir yönde gelişmesini sağlamak için, iki tepe noktasının yerel arama öncesi ve sonrası uygunluk değerleri, konumun güncellenmesini belirlemek üzere karşılaştırılır. Yeni birey orijinalinden daha iyi performans gösteriyorsa güncelleme pozisyonuna geçilir, aksi halde güncelleme yapılmaz. İlgili matematiksel ifade aşağıdaki gibidir.

$$\overrightarrow{X}_{i,best}^{t+1} = \begin{cases} \overrightarrow{X}_{i,new2}^{t+1} & f_{\overrightarrow{X}_{i,new2}^{t+1}} < f_{\overrightarrow{X}_{i,best}^{t+1}} \\ \overrightarrow{X}_{i,best}^{t+1} & otherwise \end{cases} \quad (3.13)$$

Yerel toplamanın amacı, her topolojik üçgen birimi içindeki pozitif bilgiyi toplamaktır. Her birimdeki en uygun birey toplanır ve α parametresinin kontrolü altında belirli bir aralıktaki daha iyi bir konuma güncellenir. Her geçici birimin yerel olarak toplanmasından sonra, oluşan en iyi konumlarına göre yeni benzer topoloji birimleri oluşturulur. Yerel toplama süreci, her topolojik üçgen biriminin mümkün olduğu kadar hassas bir şekilde çıkarılmasını sağlar. Ayrıca daha sonraki yinelemelerde varyasyon aralığı giderek küçülür.

3.1.5. Algoritmanın Yürütme Akışı

İlk olarak üçgen topolojik birimlerin sayısı $[N/3]$ ile belirlenir. Her yinelemede geri kalan 1 veya 2 kişinin uygun bölgede rastgele yeni pozisyonlar oluşturduğuna dikkat edilmelidir.

Rastgele oluşturulan konumlar, her yinelemede aynı sayıda üçgen birimin sağlanmasını amaçlayan uygunluk değeri için mevcut bireylerle karşılaştırılır. Bu nedenle, bir sonraki yineleme güncellemesi için lider olarak en iyi $[N/3]$ bireyler seçilir. Bunlar aslında her birim için en uygun bireylerdir. ÜTTİ algoritmasında, her üçgen topolojik birim için en uygun birey, yineleme başına üç aşamalı güncelleme uygular; bunlar oluşturulan üçgen topolojik birimler, genel toplama ve yerel toplamadır.

3.2. UYGUNLUK MESAFE DENGESİ

Uygunluk-mesafe dengesi (UMD) seçim yöntemi, Kahraman ve arkadaşları tarafından 2020 yılında önerilen geliştirilmiş bir seçim yöntemidir. UMD yönteminin amacı, arama sürecinde sezgisel arama algoritmalarına etkin bir şekilde rehberlik etmektir. Sezgisel arama algoritmalarında seçim yöntemleri, arama operatörlerinin ihtiyaç duyduğu referans konumları belirlemek için kullanılır [33],[39]. Bu nedenle, seçim yöntemleri popülasyonun geleceğinin şekillenmesine olanak sağladığı için algoritmaların performansı açısından oldukça önemlidir. Sezgisel arama algoritmalarındaki diğer unsurlarda olduğu gibi, seçim yöntemlerinin tasarımında da doğadaki süreçler referans alınır. Buna göre, sezgisel arama algoritmalarında kullanılan seçim yöntemleri açgözlü, rastgele ve olasılıksal olmak üzere üç kategoride sınıflandırılmaktadır. Açgözlü seçim yöntemi, doğadaki elitizm mantığına dayanmaktadır ve popülasyon üyeleri arasından en güçlü olanın seçildiği yöntemdir. Rastgele seçim yöntemi, doğada sıklıkla meydana geldiği varsayılan rastgeleliğe dayanmaktadır. Buna göre, popülasyondaki bireyler arasında tamamen rastgele bir seçim yapılır. Olasılıksal seçim yönteminde açgözlü ve rastgele seçim yöntemleri birlikte kullanılır ve seçimin olasılığı uygunluk değerine göre belirlenir. Rulet tekerleği ve turnuva yöntemleri, olasılıksal seçim yöntemlerinin örnekleridir [33].

UMD, bu yöntemler arasında, açgözlü seçim yöntemi olarak sınıflandırılmaktadır. Ancak, UMD seçim yönteminin diğer açgözlü yöntemlerden en önemli farkı, seçim işleminin sadece uygunluk değerine göre değil, aynı zamanda puan değerine göre yapılmasıdır. UMD seçim yönteminde, her bir çözüm adayının puan değeri hesaplanır. Puan hesabında, popülasyondaki her bir çözüm adayının uygunluk değeri ve en iyi çözüm adayına olan uzaklığı dikkate alınmaktadır. UMD, en yüksek puana sahip çözüm adayının arama sürecini yönlendirmesine olanak sağlar. Sonuç olarak, en iyi çözüm adayının komşuluğunda yer alan bir çözüm adayının seçimini de engellemiş olur. Böylece, keşif ve sömürü görevlerinin dengeli bir şekilde yürütülmesi sağlanmaktadır [33]. UMD seçim yöntemini uygulamak için aşağıdaki adımlar izlenmelidir:

- İlk olarak, çözüm adaylarının uygunluk değerleri (f_v) hesaplanır. n -tasarım değişkenli ve m -çözüm adaylı bir P -popülasyonunda, i 'ninci çözüm adayı $x_i = [x_{1[i]}, x_{2[i]}, x_{3[i]}, \dots, x_{n[i]}]$ olarak ifade edilir. Buna göre, P -popülasyonunun vektörü ve çözüm adaylarının uygunluk değeri Denklem (3.14)'de verildiği gibidir.

$$P \equiv \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix}, fV \equiv \begin{bmatrix} f_1 \\ \vdots \\ f_m \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

- İkinci adımda, çözüm adaylarının (x_i) en iyi çözüme (x_{best}) olan uzaklığı hesaplanır. Popülasyondaki çözüm aday sayısı N ve problem boyutu D ise, i. çözüm adayının en iyi çözüm adayına olan Öklid uzaklığı Denklem (3.15) kullanılarak hesaplanır.

$$\forall P_i, D_{P_i} = \sqrt{(x_{1[i]} - x_{1[best]})^2 + (x_{2[i]} - x_{2[best]})^2 + \dots + (x_{n[i]} - x_{n[best]})^2} \quad (3.15)$$

- Popülasyonun mesafe vektörü (D_p) Denklem (3.16)'da yer almaktadır:

$$D_p \equiv \begin{bmatrix} d_1 \\ \vdots \\ d_m \end{bmatrix}_{m \times 1} \quad (3.16)$$

- UMD puanlarının hesaplanmasında yukarıdaki denklemlerde yer alan uygunluk değeri ve mesafe vektörü değeri kullanılmaktadır. Ancak bu iki değerden herhangi bir tanesinin diğerine karşı baskın bir değer olmaması amacıyla her iki değer de normalize edilerek kullanılır. Çözüm adayının UMD puanları (S_{P_i}) Denklem (3.17)'de yer almaktadır.

$$\forall P_i, S_{P_i} = \omega * normfV_i + (1 - \omega) * normD_{P_i} \quad (3.17)$$

- Son adımda ise P-popülasyonunun puan vektörü (S_p) Denklem (3.18)'de verildiği gibi ifade edilir:

$$S_p \equiv \begin{bmatrix} s_1 \\ \vdots \\ s_m \end{bmatrix}_{m \times 1} \quad (3.18)$$

3.3. ÖNERİLEN ALGORİTMA

Bu tez çalışmasında önerilen algoritma için halihazırda literatürde yer alan ÜTTİ

algoritması üzerindeki rastgele özelliği UMD ile değiştirilerek algoritmanın geliştirilmesi sağlanmıştır. Denklem (3.9)'da yer alan $\overrightarrow{X}_{rand,best}^t$ ifadesinde rastgele olarak belirlenen birey, UMD yöntemi ile belirlenerek yeni birey oluşumu bu şekilde sağlanmıştır. Bu durumda genel toplama denklemi aşağıdaki şekilde güncellenebilir.

$$\overrightarrow{X}_{i,new1}^{t+1} = r_4 * \overrightarrow{X}_{i,best}^t + (1-r_4) * \overrightarrow{X}_{UMD,best}^t \quad (3.19)$$

Bu denklemde yer alan $\overrightarrow{X}_{UMD,best}^t$ ifadesi UMD yöntemi tarafından belirlenen bireyi temsil etmektedir.



4. BENZETİM SONUÇLARI

Elektrik üretimi sürecinde dikkate alınması gereken belli başlı durumlar vardır. Bu durumlardan en önemlileri arasında maliyet hesabı ve çevre kirliliği konusunda en önemli etken olan emisyon yer almaktadır. Termal jeneratörlerine ait maliyet ve emisyon hesaplamalarında kullanılan katsayılar Çizelge 4.1’de yer almaktadır.

Çizelge 4.1. Sistemin termik jeneratörlerin maliyet ve emisyon katsayıları [3].

Generatör	Bara	a	b	c	d	e	α	β	γ	ω	μ
TG1	1	0	2	0.00375	18	0.037	4.091	-5.554	6.49	0.0002	6.667
TG2	2	0	1.75	0.0175	16	0.038	2.543	-6.047	5.638	0.0005	3.333
TG3	8	0	3.25	0.00834	12	0.045	5.326	-3.55	3.38	0.002	2

IEEE 30 baralı sistemde kullanılan termal jeneratörler yerine rüzgar ve güneş enerji santralleri entegre edilmiştir. Kullanılan rüzgar enerjisi ve güneş enerjisi santrallerine ait PDF parametreleri Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Rüzgar enerjisi ve güneş enerjisi santrallerinin PDF parametreleri[31].

Rüzgar gücü üretim tesisi				Güneş PV tesisi			
Rüzgar Tarlası#	Türbin Sayısı	Nominal Güç, Pwr (MW)	Weibull PDF parametreleri	Weibull ortalama, Mwbl	Nominal Güç, Pwr (MW)	Lognormal PDF Parametresi	Lognormal ortalama, Mlgn
1 (bara 5)	25	75	c = 9 k = 2	v = 7.976 m/s	50 (bara 13)	$\mu = 6 \sigma = 0.6$	G = 483 W/m ²
2 (bara 11)	20	60	c = 10 k = 2	v = 8.862 m/s	-	-	-

Bu tez çalışmasında IEEE 30 baralı test sistemi üzerinde toplam iki farklı durum için optimizasyon işlemi yapılmıştır. Optimizasyonu yapılan durumlardan ilki, sistemde yer alan enerji üretim elemanlarının maliyet katsayıları ile birlikte oluşturulan maliyet uygunluk değerinin minimizasyon işlemidir. Bu durumda sadece sistemde yer alan üretim elemanlarının maliyetleri dikkate alınarak en uygun değer bulunması amaçlanmıştır.

Çizelge 4.3. IEEE 30-baralı durum 1.

		Min	Maks	SHADE-SF	ÜTTİ	UMDÜTTİ
Kontrol Değişkenleri	P_{TG2} (MW)	20	80	28.564	26.4214	26.8640
	P_{TG3} (MW)	10	35	10	10.0261	10.0002
	P_{ws1} (MW)	0	75	43.774	44.0502	44.9856
	P_{ws2} (MW)	0	60	36.949	35.4115	35.5633
	P_{ss} (MW)	0	50	34.976	38.4581	36.8242
	V_1 (p.u.)	0.95	1.10	1.072	1.0711	1.0726
	V_2 (p.u.)	0.95	1.10	1.057	0.9787	1.0546
	V_5 (p.u.)	0.95	1.10	1.035	1.0526	1.0326
	V_8 (p.u.)	0.95	1.10	1.04	1.0748	1.0782
	V_{11} (p.u.)	0.95	1.10	1.1	1.0993	1.0972
V_{13} (p.u.)	0.95	1.10	1.055	1.0630	1.0537	
Parametreler	P_{TG1} (MW)	50	140	134.908	134.9104	134.9120
	Q_{TG1} (MVA _r)	-20	150	-1.903	12.1252	3.9203
	Q_{TG2} (MVA _r)	-20	60	13.261	-20.0000	4.8198
	Q_{TG3} (MVA _r)	-15	40	35.101	40.0000	40.0000
	Q_{ws1} (MVA _r)	-30	35	23.181	35.0000	21.3423
	Q_{ws2} (MVA _r)	-25	30	30	29.7195	29.6301
	Q_{ss} (MVA _r)	-20	25	17.346	20.4214	17.0721
	Toplam maliyet (\$/h)			782.503	782.8708	781.6925
	Emisyon (t/h)			1.762	1.7629	1.7629
	Karbon vergisi (\$/h)			-	-	-
	$P_{kayıp}$ (MW)			5.770	5.8777	5.7493
VD (p.u.)			0.463	0.4947	0.4582	

Önerilen bu durum, daha önce literatürde yer alan SHADE-SF [31], geliştirmesi yapılan algoritmanın orijinal hali olan ÜTTİ ve önerilen UMDÜTTİ algoritmaları ile

çözümlemiş ve bulunan değerler Çizelge 4.3'te verilmiştir. Çizelge 4.3'te yer alan bilgilerden de görülebileceği üzere önerilen UMDÜTTİ algoritması, **781.6925 \$/h** değeri ile maliyet hesabı açısından sırasıyla 782.503 \$/h ve 782.8708 \$/h değerlerine sahip SHADE-SF [31], ve ÜTTİ algoritmalarından daha iyi sonuç vermiştir.

Optimizasyonu yapılan durumlardan ikincisi ise toplam maliyetin yanı sıra sistemde doğaya salınan emisyon gazı ile emisyon maliyet katsayısı çarpımı sonucu elde edilen karbon vergisi uygunluk değerinin minimizasyon işlemidir. Bu durumda ise toplam maliyete ek olarak sistemde yer alan karbon salınımına ait maliyet de dikkate alınarak en uygun değer bulunması amaçlanmıştır. Önerilen bu durum, daha önce literatürde yer alan SHADE-SF [31], geliştirmesi yapılan algoritmanın orijinal hali olan ÜTTİ ve önerilen UMDÜTTİ algoritmaları ile çözümlenmiş ve bulunan değerler Çizelge 4.4'te verilmiştir. Çizelge 4.4'te yer alan bilgilere göre önerilen UMDÜTTİ algoritması, **809.2866 \$/h** değeri ile sırasıyla 810.346 \$/h ve 809.8440 \$/h değerlerine sahip SHADE-SF [31], ve ÜTTİ algoritmalarından daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir.

Ayrıca önerilen algoritmanın verimliliğine dair daha iyi bir gösterge olması açısından orijinal ÜTTİ algoritması ve geliştirilmiş UMDÜTTİ algoritması bağımsız 30 çalışma ile çözümlenmiş ve bulunan sonuçlara ait minimum, ortalama, maksimum ve standart sapma değerleri Çizelge 4.6'te verilmiştir. Verilen değerler göz önünde bulundurulduğunda geliştirilen UMDÜTTİ algoritmasının bağımsız 30 çalışma sonucunda hem minimum hem de ortalama değer olarak Durum 1 ve Durum 2 için orijinal ÜTTİ algoritmasından daha iyi sonuç verdiği gözlemlenebilir.

Çizelge 4.4. IEEE 30-baralı durum 2.

		Min	Maks	SHADE-SF	ÜTTİ	UMDÜTTİ
Kontrol Değişkenleri	P_{TG2} (MW)	20	80	33.047	32.4144	33.1977
	P_{TG3} (MW)	10	35	10	10.0007	10.0009
	P_{ws1} (MW)	0	75	46.021	45.4991	46.0304
	P_{ws2} (MW)	0	60	38.748	38.2894	38.7452
	P_{ss} (MW)	0	50	37.336	38.8975	36.8487
	V_1 (p.u.)	0.95	1.10	1.071	1.1000	1.1000
	V_2 (p.u.)	0.95	1.10	1.057	1.0904	1.0901

Çizelge 4.5 (devamı). IEEE 30-baralı durum 2.

	V_5 (p.u.)	0.95	1.10	1.036	1.0718	1.0715
	V_8 (p.u.)	0.95	1.10	1.04	1.0801	1.0993
	V_{11} (p.u.)	0.95	1.10	1.099	1.1000	1.1000
	V_{13} (p.u.)	0.95	1.10	1.056	1.0943	1.0972
Parametreler	P_{TG1} (MW)	50	140	123.525	123.3090	123.5835
	Q_{TG1} (MVAr)	-20	150	-2.678	-11.5190	-10.9509
	Q_{TG2} (MVAr)	-20	60	12.319	17.8115	16.5835
	Q_{TG3} (MVAr)	-15	40	35.27	40.0000	40.0000
	Q_{ws1} (MVAr)	-30	35	22.964	24.8866	24.5938
	Q_{ws2} (MVAr)	-25	30	30	18.8630	18.7102
	Q_{SS} (MVAr)	-20	25	17.779	21.1664	22.2778
	Toplam maliyet (\$/h)			810.346	809.8440	809.2866
	Emisyon (t/h)			0.891	0.8805	0.8943
	Karbon vergisi (\$/h)			17.83	17.6095	17.8870
	$P_{kayıp}$ (MW)			5.276	5.0101	5.0063
	VD (p.u.)			0.469	1.0707	1.0864

Çizelge 4.6. ÜTTİ ve UMDÜTTİ algoritmalarının karşılaştırılması.

	Durum 1				Durum 2			
	Min	Ort	Maks	Std	Min	Ort	Maks	Std
ÜTTİ	782.8708	783.2067	784.1176	0.3087	809.8463	809.9921	810.2703	0.1726
UMDÜTTİ	781.6925	782.3956	784.6169	0.6438	809.2866	809.3937	809.7072	0.1422

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, güç sistemleri alanında günümüzün önemli problemlerinden olan, rüzgar ve güneş gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının entegre edildiği Optimal Güç Akışı probleminin çözümü için, uygunluk mesafe dengesi tabanlı üçgenleme topolojisi toplama iyileştiricisi kullanılarak geliştirilen bir yöntem sunulmuştur. Önerilen yöntemde, üçgenleme topolojisinin global arama kapasitesini artırmak ve algoritmanın keşif ile sömürü arasında güçlü bir denge sağlanabilmesi amacıyla uygunluk-mesafe dengesi yöntemi kullanılmıştır. Tez çalışmasında, geliştirilen uygunluk mesafe dengesi tabanlı üçgenleme topolojisi toplama iyileştiricisi (UMDÜTTİ), rüzgar ve güneş enerjisi entegreli IEEE 30 baralı güç sisteminde OGA problemini çözmek amacıyla kullanılmıştır. Benzetim çalışmasında elde edilen sonuçlar üçgenleme topolojisi toplama iyileştiricisi (ÜTTİ) ve uygun kısıtlama işleme yönteminin dahil edildiği uyarlanabilir diferansiyel evrim algoritmasını (SHADE-SF) ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, OGA probleminin çözümü için UMDÜTTİ yönteminin ÜTTİ ve SHADE-SF ile karşılaştırıldığında daha etkili çözümler sunduğunu göstermektedir.

6. KAYNAKLAR

- [1] S. Duman, U. Güvenç, Y. Sönmez, & N. Yörükeren, “Optimal power flow using gravitational search algorithm,” *Energy Conversion and Management*, c. 59, ss. 86–95, 2012.
- [2] Y. Hınıslıoğlu, “Kaotik güve sürüsü algoritması kullanarak rüzgar gücü entegreli optimal güç akışı,” Yüksek lisans tezi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye, 2018.
- [3] E. Kaymaz, S. Duman, & U. Güvenç, “Optimal power flow solution with stochastic wind power using the Lévy coyote optimization algorithm,” *Neural Computing and Applications*, c. 33, sayı 12, ss. 6775-6804, 2021.
- [4] X. Yan, & V. H. Quintana, “Improving an interior-point-based OPF by dynamic adjustments of step sizes and tolerances,” *IEEE Transactions on Power Systems*, c. 14, sayı 2, ss. 709-717, 1999.
- [5] H. Habibollahzadeh, G. X. Luo, & A. Semlyen, “Hydrothermal optimal power flow based on a combined linear and nonlinear programming methodology,” *IEEE Transactions on Power Systems*, c. 4, sayı 2, ss. 530-537, 1989.
- [6] R. C. Burchett, H. H. Happ, & D. R. Vierath, “Quadratically convergent optimal power flow,” *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, sayı 11, ss. 3267-3275, 1984.
- [7] D. Devaraj, & B. Yegnanarayana, “Genetic-algorithm-based optimal power flow for security enhancement,” *IEE Proceedings-Generation, Transmission and Distribution*, c. 152, sayı 6, ss. 899-905, 2005.
- [8] L. L. Lai, J. T. Ma, R. Yokoyama, & M. Zhao, “Improved genetic algorithms for optimal power flow under both normal and contingent operation states,” *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, c. 19, sayı 5, ss. 287-292, 1997.
- [9] M. A. Abido, “Optimal power flow using tabu search algorithm,” *Electric Power Components and Systems*, c. 30, sayı 5, ss. 469-483, 2002.

- [10] M. A. Abido, "Optimal power flow using particle swarm optimization," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, c. 24, sayı17, ss. 563-571, 2002.
- [11] M. Varadarajan, & K. S. Swarup, "Solving multi-objective optimal power flow using differential evolution," *IET Generation, Transmission & Distribution*, c. 2, sayı 5, ss.720-730, 2008.
- [12] B. Ozkaya, "Enhanced growth optimizer algorithm with dynamic fitness-distance balance method for solution of security-constrained optimal power flow problem in the presence of stochastic wind and solar energy," *Applied Energy*, sayı 368, ss. 123499, 2024.
- [13] K. M. Sallam, M. A. Hossain, S. Elsayed, R. K. Chakraborty, M. J. Ryan, & M. A. Abido, "Optimal power flow considering intermittent solar and wind generation using multi-operator differential evolution algorithm," *Electric Power Systems Research*, sayı 232, ss. 110377, 2024.
- [14] P. Trojovský, E. Trojovská, & E. Akbari, "Economical-environmental-technical optimal power flow solutions using a novel self-adaptive wild geese algorithm with stochastic wind and solar power," *Scientific Reports*, c. 14, sayı 1, ss. 4135, 2024.
- [15] A. Adhikari, F. Jurado, S. Naetiladdanon, A. Sangswang, S. Kamel, & M. Ebeed, "Stochastic optimal power flow analysis of power system with renewable energy sources using Adaptive Lightning Attachment Procedure Optimizer," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, sayı 153, ss. 109314, 2023.
- [16] T. H. B. Huy, H. T. Doan, D. N. Vo, K. H. Lee, & D. Kim "Multi-objective optimal power flow of thermal-wind-solar power system using an adaptive geometry estimation based multi-objective differential evolution," *Applied Soft Computing*, sayı 149, ss. 110977, 2023.
- [17] M. H. Hassan, S. K. Elsayed, S. Kamel, C. Rahmann, & I. B. Taha, "Developing chaotic Bonobo optimizer for optimal power flow analysis considering stochastic renewable energy resources," *International Journal of Energy Research*, c. 46, sayı 8, ss. 11291-11325, 2022.
- [18] A. S. Alghamdi, "A hybrid firefly-JAYA algorithm for the optimal power flow problem considering wind and solar power generations," *Applied Sciences*, c. 12, sayı 14, ss. 7193, 2022.

- [19] S. Li, W. Gong, L. Wang, & Q. Gu, “Multi-objective optimal power flow with stochastic wind and solar power,” *Applied Soft Computing*, sayı 114, ss. 108045, 2022.
- [20] U. Güvenç, S. Duman, H. T. Kahraman, S. Aras, & M. Kati, “Fitness–Distance Balance based adaptive guided differential evolution algorithm for security-constrained optimal power flow problem incorporating renewable energy sources,” *Applied Soft Computing*, sayı 108, ss. 107421, 2021.
- [21] M. Rambabu, G. VenkataNagesh Kumar, B. Venkateswara Rao, & B. Sravan Kumar, “Optimal power flow solution of an integrated power system using elephant herd optimization algorithm incorporating stochastic wind and solar power,” *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, ss. 1-21, 2021.
- [22] M. Riaz, A. Hanif, S. J. Hussain, M. I. Memon, M. U. Ali, & A. Zafar, “An optimization-based strategy for solving optimal power flow problems in a power system integrated with stochastic solar and wind power energy,” *Applied Sciences*, c. 11, sayı 15, ss. 6883, 2021.
- [23] M. Farhat, S. Kamel, A. M. Atallah, & B. Khan, “Optimal power flow solution based on jellyfish search optimization considering uncertainty of renewable energy sources,” *IEEE Access*, sayı 9, ss. 100911-100933, 2021.
- [24] A. K. Khamees, A. Y. Abdelaziz, M. R. Eskaros, A. El-Shahat, & M. A. Attia, “Optimal power flow solution of wind-integrated power system using novel metaheuristic method,” *Energies*, c. 14, sayı 19, ss. 6117, 2021.
- [25] I. U. Khan, N. Javaid, K. A. Gamage, C. J. Taylor, S. Baig, & X. Ma, “Heuristic algorithm based optimal power flow model incorporating stochastic renewable energy sources,” *IEEE Access*, sayı 8, ss. 148622-148643, 2020.
- [26] S. Duman, S. Rivera, J. Li, & L. Wu, “Optimal power flow of power systems with controllable wind-photovoltaic energy systems via differential evolutionary particle swarm optimization,” *International Transactions on Electrical Energy Systems*, c. 30, sayı 4, ss. e12270, 2020.
- [27] E. E. Elattar, “Optimal power flow of a power system incorporating stochastic wind power based on modified moth swarm algorithm,” *IEEE Access*, sayı 7, ss. 89581-89593, 2019.

- [28] S. R. Salkuti, "Optimal power flow using multi-objective glowworm swarm optimization algorithm in a wind energy integrated power system," *International Journal of Green Energy*, c. 16, sayı 15, ss. 1547-1561, 2019.
- [29] C. Mishra, S. P. Singh, & J. Rokadia, "Optimal power flow in the presence of wind power using modified cuckoo search," *IET Generation, Transmission & Distribution*, c. 9, sayı 7, ss. 615-626, 2015.
- [30] A. Panda, & M. Tripathy, "Security constrained optimal power flow solution of wind-thermal generation system using modified bacteria foraging algorithm," *Energy*, sayı 93, ss. 816-827, 2015.
- [31] P. P. Biswas, P. N. Suganthan, & G. A. Amaratunga, "Optimal power flow solutions incorporating stochastic wind and solar power," *Energy conversion and management*, sayı 148, ss. 1194-1207, 2017.
- [32] S. Zhao, T. Zhang, L. Cai, & R. Yang, "Triangulation topology aggregation optimizer: A novel mathematics-based meta-heuristic algorithm for continuous optimization and engineering applications," *Expert Systems with Applications*, sayı 238, ss. 121744, 2024.
- [33] H. T. Kahraman, S. Aras, & E. Gedikli, "Fitness-distance balance (FDB): a new selection method for meta-heuristic search algorithms," *Knowledge-Based Systems*, sayı 190, ss. 105169, 2020.
- [34] M. W. Jones, & R. A. Satherley, "Shape representation using space filled sub-voxel distance fields," *International conference on shape modeling and applications*, 2001, ss. 316-325.
- [35] P. V. N. Reddy, G. R. Padmini, P. Govindaraj, & M. S. Sudhakar, "Robust feature descriptor employing square triangle tessellation for shape retrieval," *Wireless Personal Communications*, ss. 1-14, 2022.
- [36] M. Laczkovich, "Irregular tilings of regular polygons with similar triangles," *Discrete & Computational Geometry*, c. 66, sayı 4, ss. 1239-1261, 2021.
- [37] A. Soifer, "How Does One Cut a Triangle?," *How Does One Cut a Triangle? I*, New York, Springer New York, 2009, ss. 15-23.
- [38] M. Jiang, Z. Wang, H. Hong, & G. G. Yen, "Knee point-based imbalanced transfer learning for dynamic multiobjective optimization," *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, c. 25, sayı 1, ss. 117-129, 2020.

- [39] S. Aras, E. Gedikli, & H. T. Kahraman, “A novel stochastic fractal search algorithm with fitness-distance balance for global numerical optimization,” *Swarm and Evolutionary Computation*, c. 61, ss. 100821, 2021.
- [40] S. Duman, H. T. Kahraman, Y. Sonmez, U. Güvenç, M. Kati & S. Aras, “A powerful meta-heuristic search algorithm for solving global optimization and realworld solar photovoltaic parameter estimation problems,” *Engineering, Applications of Artificial Intelligence*, c. 111, ss. 104763, 2022.
- [41] S. Duman, H. T. Kahraman, U. Güvenç, & S. Aras, “Development of a Lévy flight and FDB-based coyote optimization algorithm for global optimization and realworld ACOPF problems,” *Soft Computing*, c. 25, sayı 8, ss. 6577-6617, 2021.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Ali YAZICI

Yabancı Dili : İngilizce

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Elektrik Elektronik ve Bilgisayar Müh.	Düzce Üniversitesi	2024
Lisans	Elektrik Elektronik Müh.	Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi	2021
Lisans	TEF Elektrik Öğretmenliği	Gazi Üniversitesi	1990
Lise	Elektrik	Ankara Abidinpaşa EML.	1984

TEZDEN ÇIKARILAN YAYINLAR

A. Yazıcı, & U. Güvenç, “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarını İçeren Optimal Güç Akışı İçin Uygunluk Mesafe Dengesi Tabanlı Üçgenleme Topolojisi Toplama İyileştiricisi,” *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 28, sayı 2, ss. 221-234, 2024.

DİĞER YAYINLAR

U. Güvenç, C. Yılmaz, & A. Yazıcı, “Dynamic economic dispatch using chaos based gravitational search algorithm,” *7th International Conference on Advanced Technologies (ICAT'18)*, Antalya, Türkiye, 2018.