

T.C.
BANDIRMA ONYEDİ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**METASEZGİSEL OPTİMİZASYON ALGORİTMALARI KULLANILARAK GÜÇ
SİSTEMLERİNDE TIKANIKLIK YÖNETİMİ İÇİN JENERATÖRLERİN AKTİF
GÜÇLERİNİN YENİDEN PLANLANMASI**

Mehmet UĞUR

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Elektronik Mühendisliği Programı

EKİM 2023

T.C.
BANDIRMA ONYEDİ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**METASEZGİSEL OPTİMİZASYON ALGORİTMALARI KULLANILARAK GÜÇ
SİSTEMLERİNDE TIKANIKLIK YÖNETİMİ İÇİN JENERATÖRLERİN AKTİF
GÜÇLERİNİN YENİDEN PLANLANMASI**

Mehmet UĞUR

DANIŞMAN
Doç. Dr. Serhat DUMAN

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Elektronik Mühendisliği Programı

EKİM 2023

ONAY

Mehmet UĞUR tarafından hazırlanan “**Metasezgisel Optimizasyon Algoritmaları Kullanılarak Güç Sistemlerinde Tıkanıklık Yönetimi İçin Jeneratörlerin Aktif Güçlerinin Yeniden Planlanması**” adlı tez çalışması 05/10/2023 tarihinde yapılan sınavla aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile Bandırma Onyedü Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Doç. Dr., Serhat DUMAN
(Danışman)

Prof. Dr., Uğur GÜVENÇ
(Üye)

Doç. Dr., Serhat Berat EFE
(Üye)

İmza

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun .../.../...gün ve .../... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Doç. Dr. Abdullah YEŞİL

Enstitü Müdürü

BANDIRMA ONYEDİ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI
ETİK BEYANI

Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre hazırlamış olduğum “**Metasezgisel Optimizasyon Algoritmaları Kullanılarak Güç Sistemlerinde Tıkanıklık Yönetimi İçin Jeneratörlerin Aktif Güçlerinin Yeniden Planlanması**” adlı tezimin özgün bir çalışma olduğunu, tez hazırlanırken tüm aşamalarda bilimsel etik ilkelerine uygun davrandığımı, tez kapsamında sunulan tüm verileri bilimsel etik ilkelerine uygun elde ettiğimi, tezde faydalandığım tüm eserlere atıf yaptığımı ve kaynaklar kısmında bu eserleri gösterdiğimi beyan ederim./...../20...

Mehmet UĞUR
İmza

ÖNSÖZ

Günümüzde, teknoloji ve sanayileşmedeki gelişmeler buna bağlı olarak insanların yaşam standartlarının artmasıyla birlikte elektrik enerjisine olan talep giderek artmaktadır. Bu durum, elektrik piyasasının kamudan çıkarak serbestleştirmeye tabi tutulan rekabetçi bir piyasaya doğru kaymasını sağlamıştır. İletim hattı şebekelerinde belirli limitler nedeniyle hatlarda gerekli miktarda güç akışı sağlamadığından tıkanıklık olayları geleneksel güç sistemlerine göre rekabetçi elektrik piyasalarında daha fazladır. Güç sistemlerinde meydana gelen bu tıkanıklık olaylarının giderilmesini sağlamak için etkin stratejiler ve farklı çözüm yöntemleri geliştirmek çok önemlidir. Bu tez çalışmasında, son zamanlarda literatüre sunulan metasezgisel optimizasyon algoritmaları kullanılarak elektrik güç sistemlerinde meydana gelen tıkanıklık olaylarının modellendiği tıkanıklık yönetimi probleminin çözülmesi amaçlanmaktadır. Farklı benzetim senaryolarına göre tıkanıklık olaylarının modellendiği benzetim çalışmaları yapılmıştır. Benzetim çalışmalarından elde edilen sonuçlar literatürdeki diğer sonuçlar ile karşılaştırılmış, karşılaştırma sonuçlarına göre kullanılan optimizasyon algoritmaların bu problemi çözmedeki başarısı değerlendirilmiştir.

Tez konusunun belirlenmesi, araştırılması, benzetim çalışmalarının yapılması ve tez yazım süreci boyunca her konuda benden yardımlarını esirgemeyen danışmanım Sayın Doç. Dr. Serhat DUMAN'a, teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

METASEZGİSEL OPTİMİZASYON ALGORİTMALARI KULLANILARAK GÜÇ SİSTEMLERİNDE TIKANIKLIK YÖNETİMİ İÇİN JENERATÖRLERİN AKTİF GÜÇLERİNİN YENİDEN PLANLANMASI

Mehmet UĞUR

Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Serhat DUMAN

EKİM 2023, 42 sayfa

Modern güç sistemleri optimal koşullarda işletilmesi ve planlanması gerekmektedir. Son zamanlarda, güç sistemleri kamunun tek elinden çıkıp, serbestleştirilmiş elektrik enerjisi piyasasına geçmiştir. Serbestleştirilmiş piyasa rekabetçi bir ortam oluşturmakta ve bu ortama birçok şirketin katılımını sağlamaktadır. Şirketler, hem tüketicilere en güvenilir elektriği sağlamayı hem de iletim hatlarından maksimum güç aktarımını amaçlamaktadırlar. Bu amaç, iletim hatlarının aşırı yüklenmesine ve tıkanıklığına yol açmaktadır. Tıkanıklık problemi, mevcut güç sistemleri üzerinde ciddi sistem hasarlarına yol açabilir. Bu yüzden, modern güç sistemlerinde tıkanıklık yönetimi elektrik enerjisi piyasası için merkezi bir öneme sahiptir. Tıkanıklık probleminin giderilmesi için farklı tıkanıklık yönetimi stratejileri geliştirilmektedir. Bu stratejiler, sistemin güvenilir, kararlı ve temiz bir şekilde çalışmasını hedeflemektedirler. Jeneratörlerin aktif güç üretimlerinin yeniden programlanmasıyla iletim hatlarında meydana gelen tıkanıklığın giderilmesi bu stratejiler içerisinde en çok kullanılanlardan biri olarak ifade edilmektedir. Jeneratörlerin üretimlerinin yeniden planlanmasında toplam tıkanıklık maliyetinin minimizasyonu

hedeflenmektedir. Bu durum, tıkanıklık probleminin bir optimizasyon problemi olduğunu ortaya koymaktadır.

Bu tez çalışması, iletim hatlarında meydana gelen tıkanıklık problemini gidermek için jeneratörlerin üretimlerinin yeniden programlanmasını metasezgisel optimizasyon algoritmalarından balçık küfü algoritması ve tazmanya canavarı optimizasyon algoritmasını kullanarak gerçekleştirmektedir. Önerilen optimizasyon algoritmaları toplam tıkanıklık maliyetini belirtilen eşitlik ve eşitsizlik kısıtlamalarını altında minimize etmeyi amaçlamaktadır. Benzetim çalışmaları dört farklı tıkanıklık senaryosu altında IEEE 30-bara ve 57-bara test sistemlerinde gerçekleştirilmiştir. Önerilen yaklaşımlardan elde edilen benzetim çalışmalarının sonuçları literatürdeki diğer optimizasyon algoritmalarının sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçları, balçık küfü algoritmasının toplam tıkanıklık maliyetini minimize ederek sistemin tıkanıklığını diğer optimizasyon algoritmalarına göre daha etkili bir şekilde giderdiğini göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Modern Güç Sistemleri, İletim Hatlarında Tıkanıklık Problemi, Tıkanıklık Yönetimi Stratejileri, Balçık Küfü Algoritması, Tazmanya Canavarı Optimizasyon Algoritması.

ABSTRACT

M.Sc. THESIS

**ACTIVE POWERS RESCHEDULING OG GENERATORS FOR CONGESTION
MANAGEMENT IN POWER SYSTEMS BY USING METAHEURISTIC
OPTIMIZATION ALGORITHMS**

Mehmet UĞUR

**Bandırma Onyedi Eylül University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Electrical and Electronics Engineering**

Supervisor: Assoc. Prof. Serhat DUMAN

October 2023, 42 pages

Modern power systems must be operated and planned under optimal conditions. Recently, the power systems have moved from sole public ownership to the liberalized electrical energy market. The liberalized market creates a competitive environment and enables many companies to participate in this environment. The companies aim to both provide the most reliable electricity to consumers and maximize power transfer through transmission lines. This purpose leads to overload and congestion of transmission lines. The congestion problem can cause serious system damage to existing power systems. Therefore, the congestion management in modern power systems is of central importance to the electrical energy market. Different congestion management strategies are developed to eliminate the congestion problem. These strategies aim to ensure that the system operates in a reliable, stable and clean manner. Removing the congestion in transmission lines by reprogramming the active power production of generators is stated to be one of the most used strategies. The aim is to minimize the total congestion cost in rescheduling the production of generators. This reveals that the congestion problem is an optimization problem.

This thesis reschedules the production of generators to eliminate the congestion problem in transmission lines by using the slime mold algorithm and the tasmanian devil optimization algorithm, which are metaheuristic optimization algorithms. The proposed optimization algorithms aim to minimize the total congestion cost under the specified equality and inequality constraints. Simulation studies were carried out on IEEE 30-bus and 57-bus test systems under four different congestion scenarios. The results of simulation studies obtained from the proposed approaches were compared with the results of other optimization algorithms in the literature. Comparison results show that the slime mold algorithm relieves the congestion of the system more effectively than other optimization algorithms by minimizing the total congestion cost.

Keywords: Modern Power Systems, Congestion Problem in Transmission Lines, Congestion Management Strategies, Slime Mold Algorithm, Tasmanian Devil Optimization Algorithm

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	I
ABSTRACT	III
İÇİNDEKİLER.....	V
ŞEKİL LİSTESİ	VII
TABLO LİSTESİ.....	VIII
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ.....	IX
1. GİRİŞ.....	1
1.1 TEZİN AMACI.....	1
1.2 LİTERATÜR TARAMASI	2
1.3 TEZİN BÖLÜMLERİ	7
2. GÜÇ SİSTEMLERİNDE TIKANIKLIK YÖNETİMİ PROBLEMİNİN TANIMLANMASI	8
2.1 PROBLEMİN MATEMATİKSEL MODELİ.....	8
2.1.1 Probleminin Toplam Maliyet Fonksiyonu	8
2.1.2 Probleminin Eşitlik Kısıtları	8
2.1.3 Probleminin Eşitsizlik Kısıtları	9
3. METASEZGİSEL OPTİMİZASYON ALGORİTMALARI	11
3.1 BALÇIK KÜFÜ ALGORİTMASI	11
3.1.1 Yiyeceklere Yaklaşma Davranışı	11
3.1.2 Yiyeceklere Sarma Davranışı	12
3.1.3 Osilasyon Davranışı.....	13
3.2 TAZMANYA CANAVARI OPTİMİZASYON ALGORİTMASI	14
3.2.1 TDO Algoritmasının Başlangıç Popülasyonu Oluşturma.....	14
3.2.2 Leş Yiyerek Beslenme Stratejisi.....	15
3.2.3 Av Yemekle Beslenme Stratejisi.....	16

4. BULGULAR.....	19
4.1 BENZETİM ÇALIŞMALARININ SONUÇLARI.....	19
4.1.1 IEEE 30-Bara Test Sisteminin Benzetim Sonuçları.....	19
4.1.2 IEEE 57-Bara Test Sisteminin Benzetim Sonuçları.....	27
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	36
6. KAYNAKLAR.....	38
ÖZGEÇMİŞ	42



ŞEKİL LİSTESİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 3-1: SMA akış diyagramı.....	13
Şekil 4-1: Senaryo 1A için SMA ve TDO algoritmalarının toplam tıkanıklık maliyeti değerinin değişimi.....	22
Şekil 4-2: Senaryo 1A için yük baralarına ait gerilim değerleri	23
Şekil 4-3: Senaryo 1A için jeneratörlerin aktif güçlerinin yeniden programlama değerleri	23
Şekil 4-4: Senaryo 1B için SMA ve TDO algoritmalarının toplam tıkanıklık maliyeti değerinin değişimi.....	26
Şekil 4-5: Senaryo 1B için yük baralarına ait gerilim değerleri	26
Şekil 4-6: Senaryo 1B için jeneratörlerin aktif güçlerinin yeniden programlama değerleri	27
Şekil 4-7: Senaryo 2A için SMA ve TDO algoritmalarının toplam tıkanıklık maliyeti değerinin değişimi.....	31
Şekil 4-8: Senaryo 2A için yük baralarına ait gerilim değerleri	31
Şekil 4-9: Senaryo 2A için jeneratörlerin aktif güçlerinin yeniden programlama değerleri	32
Şekil 4-10: Senaryo 2B için SMA ve TDO algoritmalarının toplam tıkanıklık maliyeti değerinin değişimi.....	34
Şekil 4-11: Senaryo 2B için yük baralarına ait gerilim değerleri	35
Şekil 4-12: Senaryo 2B için jeneratörlerin aktif güçlerinin yeniden programlama değerleri	35

TABLO LİSTESİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
Tablo 4-1: Değiştirilmiş IEEE 30-bara jeneratör verileri ve fiyat teklifi değerleri.....	20
Tablo 4-2: Değiştirilmiş IEEE 30-bara test sistemi için senaryolara göre tıkanık hat verileri	20
Tablo 4-3: Senaryo 1A için SMA ve TDO algoritmalarından elde edilen sonuçların literatürdeki diğer sonuçlar ile karşılaştırılması	21
Tablo 4-4: Senaryo 1B için SMA ve TDO algoritmalarından elde edilen sonuçların literatürdeki diğer sonuçlar ile karşılaştırılması	25
Tablo 4-5: Değiştirilmiş IEEE 57-bara test sistemi için senaryolara göre tıkanık hat verileri	28
Tablo 4-6: Değiştirilmiş IEEE 57-bara jeneratör verileri ve fiyat teklifi değerleri.....	28
Tablo 4-7: Senaryo 2A için SMA ve TDO algoritmalarından elde edilen sonuçların literatürdeki diğer sonuçlar ile karşılaştırılması	29
Tablo 4-8: Senaryo 2B için SMA ve TDO algoritmalarından elde edilen sonuçların literatürdeki diğer sonuçlar ile karşılaştırılması	33

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
TTM_C	: Jeneratörlerin aktif güç üretimindeki değişime bağlı olarak toplam üretim maliyeti
C_k	: Üretim şirketi tarafından verilen artımlı fiyat teklifi katsayısı
D_k	: Üretim şirketi tarafından verilen indirimli fiyat teklifi katsayısı
N_B	: Güç sistemindeki toplam bara sayısı
N_G	: Güç sistemindeki toplam jeneratör sayısı
N_D	: Güç sistemindeki toplam yük barası sayısı
ovl	: Aşırı yüklenmiş iletim hatları sayısı
P_{Dk}	: k barasındaki talep edilen aktif güç
P_{Dj}^C	: Piyasa takas değerine göre j 'inci yük barasına bağlı yük tarafından tüketilen aktif güç
P_{Gk}	: k barasına bağlı jeneratör tarafından üretilen aktif güç
P_{Gk}^C	: Piyasa takas değerine göre k 'ıncı jeneratör tarafından üretilen aktif güç
Q_{Dk}	: k barasındaki talep edilen reaktif güç
Q_{Gk}	: k barasına bağlı jeneratör tarafından üretilen reaktif güç
V_j	: j 'inci baradaki gerilim genlik değeri
V_k	: k 'ıncı baradaki gerilim genlik değeri
δ_j	: j 'inci baradaki gerilimin açı değeri
δ_k	: k 'ıncı baradaki gerilim açı değeri
θ_{kj}	: k ve j baraları arasında bağlanan hattın açısı
γ_i	: Penaltı fonksiyonları için ceza katsayıları
ΔP_{Gi}^+	: Jeneratörlerin aktif güç değerlerinin artışı
ΔP_{Gi}^-	: Jeneratörlerin aktif güç değerlerinin azalışı

Kısaltmalar	Açıklama
ABC	: Yapay arı kolonisi algoritması
ABFNM	: Nelder-mead yöntemi tabanlı bakteriyel yiyecek arama algoritması
ALO	: Karınca aslanı optimizasyonu algoritması
ASO	: Atom arama optimizasyon algoritması
BA	: Yarasa algoritması
CBA	: Kaotik yarasa algoritması
CM	: Tıkanıklık yönetimi
DE	: Diferansiyel evrim algoritması
DISCO	: Dağıtım şirketleri
EGA	: Evrimsel tabanlı geliştirilmiş genetik algoritma
FACTS	: Esnek alternatif akım iletim sistemleri
FEP	: Bulanık evrimsel programlama algoritması
FFA	: Ateşböceği algoritması
FPA	: Çiçek tozlaşma algoritması
FPSO	: Bulanık parçacık sürü optimizasyon algoritması
GA	: Genetik algoritma
GENCO	: Üretim şirketleri
GSF	: Jeneratör hassasiyet faktörleri
GWO-CSA	: Gri kurt ve guguk kuşu arama algoritması
ICSA	: Geliştirilmiş karga arama algoritması
IDE	: Geliştirilmiş diferansiyel evrim algoritması
ISO	: Bağımsız sistem operatörü
JTYP	: Jeneratörlerin toplam yeniden planlama gücü
MBMMOA	: Manyetotaktik bakteri moment göçü optimizasyon algoritması
MO-GEM	: Çok amaçlı el bombası patlaması algoritması
MO-GSO	: Çok amaçlı ateş böceği sürüsü optimizasyon algoritması
MVCS	: Değiştirilmiş virüs kolonisi araması algoritması
NSGA-II	: Baskın olmayan sıralama genetik algoritma II
PF	: Güç akışı değeri
PSO	: Parçacık sürü optimizasyon algoritması
RES	: Yenilenebilir enerji kaynakları

RSM	: Rasgele arama algoritması
SA	: Benzetim tavlama algoritması
SBF	: Basit bakteri toplama algoritması
SMA	: Balçık küfü algoritması
SOS	: Simbiyotik organizma arama algoritması
TDO	: Tazmanya canavarı optimizasyon algoritması
TLBO	: Öğretme-öğrenme tabanlı optimizasyon algoritması
TTM	: Toplam tıkanıklık maliyeti



1. GİRİŞ

Artan nüfusa bağlı olarak teknoloji ve sanayileşmedeki gelişmeler, insanların yaşam standartlarını arttırmasıyla birlikte modern toplumların temel gereksinimlerinden biri olan elektrik enerjisinin önemi giderek artmaktadır. Elektrik enerjisi üretim sistemleri tarafından üretilip, iletim ve dağıtım sistemleri vasıtasıyla son kullanıcıya kadar iletilmektedir. Güç sistemlerinin bu bileşenleri önceleri kamu tarafından işletilen ve ortak kontrole sahip bileşenlerdi. Günümüzde, güç sistemlerinin yeniden yapılandırılmasıyla bu bileşenler üretim, iletim ve dağıtım şirketleri tarafından bağımsız sistem operatörleri olarak çalışmaktadır. Böylece, elektrik enerji piyasası kamudan çıkarılarak farklı şirketlerin rol aldığı serbest bir piyasa haline dönüşmüştür. Serbestleştirilmiş elektrik enerjisi piyasasında, piyasadaki her bir şirket mümkün olduğundan daha fazla kazanmaya odaklı çalıştığından, mevcut kaynaklarını modern güç sistemlerini nominal kapasitesine yakın olarak çalıştırmak için kullanmaktadır. Ayrıca, serbest elektrik enerjisi piyasasında, tüm sistem operatörleri modern güç sistemlerinde birbirleriyle senkronize olarak çalışması gerekmektedir.

Serbest elektrik enerjisi piyasası ortamında ortaya çıkan en önemli teknik sorunlardan biri iletim hatlarında tıkanıklık olarak ifade edilmektedir.

1.1 TEZİN AMACI

Elektrik enerji sektörünün yeniden yapılandırılmasıyla, elektrik enerji sistemlerinin daha verimli ve uygun maliyetler ile işletilmesi gerekmektedir. Modern güç sistemlerinin verimli ve ekonomik olarak işletilmesindeki en önemli teknik sorunlardan biri de iletim hattı tıkanıklıklarıdır. Tıkanıklık, serbest elektrik enerjisi piyasasındaki şirketler tarafından yaygın bir sorun olarak görülmektedir. Üretim ve iletim tesisleri arasındaki koordinasyon eksikliği, üretim kesintileri, hat kesintileri, yük talebindeki ani artışlar, güç sistemi ekipmanlarının arızalanması, jeneratörlerin devreye girmesi ve plansız hat akışları gibi beklenmedik durumlarda iletim hatlarında tıkanıklar meydana gelmektedir. Bu durumlar göz önünde bulundurularak, serbestleştirilmiş elektrik enerjisi piyasasında Üretim Şirketleri (GENCO'lar) ve Dağıtım Şirketleri (DISCO'lar) yapacakları işlemleri önceden planlamaları gerekmektedir. Bu işlemler uygulanmaya başlandığı sırada iletim hatlarında tıkanıklar hali hazırda mevcut olabilir. İletim hatlarında tıkanıklıkları gidermek ve enerji sisteminin güvenli çalışmasını sağlamak için bağımsız sistem operatörü (ISO) tıkanıklık yönetimi (CM) stratejilerini devreye sokmaktadır. Jeneratörlerin aktif güç çıkışlarının yeniden planlanması,

reaktif gücün doğru yönetilmesi, faz değıştiricilerin veya Ensek Alternatif Akım İletim Sistemleri (FACTS) cihazlarının kullanılması ve yeni iletim hatlarının kurulması CM stratejilerinden bazıları olarak sıralanmaktadır.

Bu tez çalışmasının temel amacı, modern güç sistemlerinde meydana gelen tıkanıklık probleminin çözümü için CM çözüm stratejilerinin metasezgisel optimizasyon algoritmalarına dayalı olarak tasarlanmasıdır. Bu bağlamda, tasarım adımları aşağıdaki gibi ifade edilmektedir;

- Modern güç sistemlerinde meydana gelen tıkanıklık probleminin tanımlanması ve çözüm yöntemlerinin sistematik bir şekilde incelenmesi,
- Metasezgisel optimizasyon yöntemlerinden balçık küfü algoritması (SMA) ve tazmanyaya canavarı optimizasyon (TDO) algoritmasının iletim hatlarındaki tıkanık probleminin çözümü için uyarlanabilir hale getirilmesi,
- İletim hatlarındaki tıkanık probleminin çözümü için CM stratejilerinden jeneratörlerin aktif güç değerlerinin yeniden planlanması stratejisinin optimizasyon sürecinde amaç fonksiyonu olarak kullanılması,
- İletim hattı tıkanıklık problemi için belirlenen senaryolara göre yapılan benzetim çalışmalarından elde edilen sonuçların literatürdeki sonuçlar ile karşılaştırılarak değerlendirilmesi ve bu sonuçların enerji iletim hatlarının güvenilirliği, verimliliği ve sürdürülebilirliği açısından ne ölçüde iyileştirme sağladığının belirlenmesi,

Bu çalışma, elektrik enerji piyasasının serbestleştirilmesiyle birlikte modern güç sistemlerinin planlanması ve işletilmesinde ortaya çıkan en önemli problemlerden biri olarak tanımlanan iletim hatlarında tıkanıklık probleminin farklı senaryolar altında SMA ve TDO optimizasyon algoritmalarıyla çözülmesini sunmaktadır.

1.2 LİTERATÜR TARAMASI

Günümüzde, modern güç sistemlerinin planlanması ve işletilmesi üzerine çalışan güç sistemi araştırmacıları, iletim hatlarında meydana gelen tıkanıklığı gidererek elektrik güç sistemlerinin rahatlaması için birçok CM yaklaşımını uygulamaya koymuşlardır. Bu yaklaşımlar içerisinde jeneratörlerin aktif güç çıkışlarının yeniden planlanması CM yöntemleri içerisinde en çok kullanılanlardan biri olarak ifade edilmektedir [1-5].

Güç sistemlerinde meydana gelen tıkanıklık problemi için jeneratörlerin aktif güç çıkışlarının yeniden planlanması veya programlanmasında optimizasyon algoritmalarının kullanımı giderek artmaktadır. Verma ve Mukherjee [6], havuz bazlı bir elektrik enerji piyasasında

jeneratörlerin aktif güç değerlerinin yeniden planlanmasıyla iletim hattında meydana gelen tıkanıklık probleminin çözümü için güvenilir ve etkili bir meta-sezgisel tabanlı ateşböceği algoritmasını (FFA) çalışmalarında sunmuşlardır. Yazarlar tarafından tıkanıklık problemi ele alınırken yük barası gerilimi ve hat yüklenmesi gibi güvenlik kısıtlamaları dikkate alınmıştır. Tıkanıklık problemi için oluşturulan senaryolar değiştirilmiş IEEE 30 ve 57 bara test sistemlerinde benzetim çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Benzetim çalışmalarından elde edilen minimum yeniden planlama maliyeti literatürdeki sonuçlar ile karşılaştırılarak FFA algoritmasının bu problemi çözmedeki başarısı yazarlar tarafından gösterilmiştir.

Balaraman ve Kamaraj [7], yeniden yapılandırılmış modern güç sistemlerinde sistem güvenliğini ve güvenilirliğini sağlamak için havuz bazlı elektrik enerjisi piyasasında CM yaklaşımı olarak diferansiyel evrim (DE) algoritmasını önermişlerdir. IEEE 30-bara test sisteminde farklı çalışma koşulları altında tıkanıklık probleminin çözümü için benzetim çalışmaları gerçekleştirilmiştir. DE algoritması tarafından elde edilen sonuçlar, sürü tabanlı optimizasyon algoritmalarından biri olan parçacık sürü optimizasyon (PSO) algoritmasının sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Yazarlar, karşılaştırma sonuçlarına göre, önerilen yaklaşımın PSO algoritmasına göre tıkanıklık problemi için yüksek kalitede çözümler elde eden önemli bir CM yaklaşımı olduğunu ifade etmişlerdir.

Verma vd. [8], öğretme-öğrenme tabanlı optimizasyon (TLBO) algoritmasını serbestleştirilmiş elektrik enerjisi piyasasında karşılaşılan tıkanıklık problemini çözmek için bir CM yaklaşımı olarak önermişlerdir. İletim hattında meydana gelen tıkanıklık probleminde jeneratörlerin aktif güç değerlerinin TLBO algoritmasıyla yeniden programlanmasının yanı sıra tıkanıklık maliyetinin de en aza indirilmesi amaçlanmıştır. IEEE 30 ve 57 bara test sistemlerinde tıkanıklık problemi için benzetim senaryoları oluşturularak benzetim çalışmaları yapılmıştır. Önerilen yaklaşımdan elde edilen benzetim sonuçları literatürdeki diğer optimizasyon algoritmalarının sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve karşılaştırma sonuçlarına göre önerilen TLBO algoritmasının bu problemin çözümünde kullanılacak güçlü bir yaklaşım olduğu literatüre sunulmuştur.

Verma vd. [9], başka bir çalışmalarında simbiyotik organizma arama (SOS) algoritmasını iletim hatlarında meydana gelen tıkanıklık probleminin çözümü için bir CM stratejisi olarak önermişlerdir. Önerilen yöntem, IEEE 30 ve 57 bara test sistemlerinde meydana gelen tıkanıklık probleminin çözümü için jeneratörlerin aktif güç değerlerinin yeniden programlanmasını amaçlamıştır. Benzetim çalışmalarından elde edilen sonuçlar literatürdeki diğer optimizasyon

algoritmaların sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve önerilen yaklaşımın tıkanıklık problemini çözmede literatürdeki diğer optimizasyon algoritmalarında daha başarılı ve etkili olduğu belirtilmiştir.

Panigrahi ve Pandi [10], nelder-mead yöntemi vasıtasıyla bakteriyel yiyecek arama (ABFNM) algoritmasını uyarlanabilir bir algoritma haline getirerek iletim hattı tıkanık probleminde bir CM yaklaşımı olarak önermişlerdir. Önerilen yaklaşım, yeniden planlama sürecinin maliyetini en aza indirmek için üretim değerlerinin optimal değerlerini belirlenen eşitlik ve eşitsizlik kısıtları içerisinde bulmayı ve böylece iletim hattında meydana gelen tıkanıklığı gidermeyi amaçlamıştır. Önerilen yaklaşımdan elde edilen benzetim sonuçları genetik algoritma (GA), PSO ve basit bakteri toplama (SBF) algoritmaların sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçlarına göre, önerilen yaklaşım diğer optimizasyon algoritmalarına göre optimal çözüme yakınsaması ve iletim hattındaki tıkanıklığın giderilmesinde daha etkili olduğu yazarlar tarafından güçlü bir şekilde vurgulanmıştır.

Kashyap ve Kansal [11], ateşböceği ve diferansiyel evrim algoritmalarını birleştirilerek oluşturdukları hibrit optimizasyon algoritmasını iletim hatlarındaki tıkanıklık probleminin çözümü için bir CM yaklaşımı olarak önermişlerdir. Benzetim çalışmalarından elde edilen sonuçlara göre, önerilen yaklaşımın güç sisteminde meydana gelen tıkanıklığı gidermede ve yeniden programlanan jeneratörlerin aktif güç değerlerine göre sistemin kararlılığını arttırmada daha başarılı olduğu gösterilmiştir.

Singh vd. [12], çalışmalarında, hidroelektrik ve termik santralleri içeren havuz bazlı bir elektrik piyasası için yeni bir CM stratejisi önermişlerdir. Önerilen CM stratejisi problemi, operasyonel işletimi, hatların aşırı yüklenmesi ve su mevcudiyeti kısıtlamalarına bağlı sıkışıklığın hafifletilmesi için hidroelektrik ve termik santrallerindeki jeneratörlerin ürettiği aktif güç değerlerine bağlı olarak üretim maliyetini en aza indirmek için doğrusal olmayan programlama problemi olarak formüle edilmiştir. Bu formülasyonun çözümünde kullanılan yöntemin etkinliği IEEE 57 ve 118 baralı test sistemlerinde yapılan benzetim çalışmalarından elde edilen sonuçlar ile gösterilmiştir.

Deb vd. [13], modern güç sistemlerinde tıkanıklık probleminin çözümü için gri kurt ve guguk kuşu arama algoritmalarının (GWO-CSA) birbirlerine göre üstün özelliklerini kullanarak geliştirdikleri hibrit bir optimizasyon algoritması önermişlerdir. Önerilen yaklaşım, jeneratörlerin aktif güç değerlerini yeniden programlayarak tıkanık maliyetini en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Ayrıca, tıkanıklığın giderilmesi yeniden programlanmış jeneratörlerin ürettikleri aktif güç değerlerine göre çalıştırılan güç sistemi üzerinden yapılmaktadır. Benzetim çalışmaları belirlenen senaryolara göre IEEE 30-bara test sistemi üzerinde gerçekleştirilmiştir. Benzetim sonuçlarına

göre önerilen yaklaşımdan elde edilen sonuçlar literatürdeki diğer sonuçlar ile karşılaştırılmış ve GWO-CSA algoritmasının tıkanıklık problemi için optimal tıkanıklık maliyeti değerini bulmada diğer algoritmalara göre daha başarılı olduğu belirtilmiştir.

Kim ve Salkuti [14] çalışmalarında, optimal güç akışı tabanlı CM problemi önermişlerdir. Önerilen optimizasyon problemi, toplam üretim maliyeti ve toplam tıkanıklık maliyeti minimizasyonunu hedeflemektedir. Önerilen problem, evrimsel tabanlı geliştirilmiş genetik algoritma (EGA) kullanılarak çözülmüştür. Benzetim çalışmaları IEEE 30-bara test sistemi üzerinde gerçekleştirilmiştir. EGA algoritmasının başarısı elde edilen sonuçlarla literatüre sunulmuştur.

Farzana ve Mahadevan [15] serbestleştirilmiş elektrik enerjisi piyasasında meydana gelen tıkanıklık olaylarının yenilenebilir enerji kaynakları (RES) ile veya RES'ler olmadan jeneratörlerin yeniden planlama yoluyla iletim hatlarının güç akışlarını öngörülen sınırlar dahilinde düzenlendiği bir çerçeve önermişlerdir. Benzetim çalışmaları IEEE 30-bara test sisteminde farklı çalışma senaryoları düşünülerek gerçekleştirilmiştir. Önerilen problemin çözümü için FFA ve PSO algoritmaları yazarlar tarafından kullanılmıştır. Yapılan benzetim çalışmaları sonucunda, RES'lerin kullanımı tıkanıklık maliyetini en aza indirmek için doğru bir planlama çerçevesi olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, minimum güç kayıpları, gerilim profili ve şebeke güvenliğinin artırılması gibi kısıtlamaların dahil edildiği problemin çözümünde kullanılan tıkanıklık maliyeti amaç fonksiyonunu en aza indirmede FFA algoritması PSO algoritmasına göre daha etkili olduğu yazarlar tarafından ifade edilmiştir.

Deb vd. [16] başka bir çalışmalarında, serbest elektrik enerjisi piyasasında en çok karşılaşılan problemlerden biri olan iletim hatlarında tıkanık probleminin çözümü için alternatif bir CM yaklaşımı olarak atom arama optimizasyon (ASO) algoritmasını önermişlerdir. Önerilen yaklaşım, tıkanıklık maliyetini farklı benzetim senaryoları altında minimize etmeyi amaçlamaktadır. Benzetim çalışmalarında yeniden planlanan jeneratörlerin aktif güç değerlerine bağlı olarak çalıştırılan IEEE 30-bara test sisteminde tıkanıklık olayları giderilmiştir. Benzetim çalışmalarında, ASO algoritması tarafından elde edilen tıkanıklık maliyeti değerleri literatürdeki diğer optimizasyon algoritmalarının sonuçları ile karşılaştırılmış ve karşılaştırma sonuçları ASO algoritmasının optimal değeri bulmada daha etkili olduğunu kanıtlamıştır.

Vijayakumar [17], serbestleştirilmiş elektrik enerjisi piyasasında iletim hattının güvenli bir şekilde çalıştırılabilmesi için tıkanıklık yönetimi problemi çok amaçlı olarak ele almıştır. İletim hattının aşırı yükü ve sistemin tıkanıklık maliyeti bu problemde tıkanıklık durumunun hafifletilmesi için amaç fonksiyonu olarak kullanılmıştır. Yazar, bulanık evrimsel programlama

(FEP) ve baskın olmayan sıralama genetik algoritma II (NSGA II) yaklaşımlarını farklı çalışma senaryoları altında bu problemi çözmek için IEEE 30-bara test sisteminde kullanmıştır. Elde edilen benzetim sonuçları değerlendirildiğinde, FEP yaklaşımı iki amaç fonksiyonunu eş zamanlı optimize etmede NSGA II yaklaşımına benzersiz bir çözüm sunduğu ifade edilmiştir.

Suganthi vd.[18] çalışmalarında, iletim hatlarındaki tıkanık probleminin çözümü için geliştirilmiş DE (IDE) algoritmasını önermişlerdir. Jeneratörlerin yeniden programlanmasının yanı sıra bara hassasiyet ve rüzgar kullanılabilirlik faktörleri vasıtasıyla rüzgar santrallerinin en uygun konumunun belirlenmesi ile iletim hatlarında meydana gelen tıkanıklığın hafifletilmesi amaçlanmıştır. Önerilen yaklaşımın performansını kritik hat kesintileri altında değerlendirmek için IEEE 30-bara test sistemi kullanılmıştır. Benzetim çalışmaları sonuçlarına göre, önerilen yaklaşım diğer optimizasyon algoritmalarına göre iletim hatlarında meydana gelen tıkanıklığı gidermede daha etkili ve başarılı olduğu gösterilmiştir.

Literatürde tıkanıklık maliyetinin optimizasyonu için jeneratörlerin yeniden programlanması sonucunda başlangıç durumundaki güç değerlerine bağlı olarak gücün artması ve azalması ortaya çıkmaktadır. Bu iki duruma karşın belirlenen maliyet katsayılarını kullanarak oluşturulan tıkanıklık maliyeti amaç fonksiyonun optimizasyonu çok amaçlı ateş böceği sürüsü optimizasyonu (MO-GSO) algoritması [19], çok amaçlı el bombası patlaması algoritması (MO-GEM) [20] ve manyetotaktik bakteri moment göçü optimizasyon algoritması (MBMMOA) [21] kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Son zamanlarda, serbestleştirilmiş elektrik güç sistemlerinin işletiminde tıkanıklık yönetimi sistemdeki jeneratörlerin aktif güç değerlerinin yeniden programlanmasıyla yapılmakta olup, jeneratör hassasiyet faktörlerinin (GSF) kullanımı ile CM'ye katılacak en hassas jeneratörler belirlenmektedir. Böylece, sistemdeki toplam tıkanık maliyetinin en aza indirilmesi GSF yaklaşımı ile daha etkili olmaktadır. GSF yaklaşımı ile toplam tıkanıklık maliyetinin optimizasyonu, geliştirilmiş karga arama algoritması (ICSA) [22], bulanık PSO (FPSO) algoritması [23], çiçek tozlaşma algoritması (FPA) [24], yapay arı kolonisi (ABC) algoritması [25], GA [26], değiştirilmiş virüs kolonisi araması (MVCS) [27] algoritması ve karınca aslanı optimizasyon (ALO) [28] algoritması kullanılarak yapılmıştır.

1.3 TEZİN BÖLÜMLERİ

Tez çalışmasına ait bölümler aşağıda kısaca tanıtılmaktadır.

- **Bölüm 1:** Tezin giriş bölümü, tezin amacı, tez konusunun literatür taraması ve tezin bölümlerinin gösterildiği bölüm olarak ifade edilmektedir.
- **Bölüm 2:** Modern güç sistemlerinde meydana gelen tıkanıklık probleminin tanıtıldığı bölümdür.
- **Bölüm 3:** Tıkanıklık probleminin çözümünde kullanılan metasezgisel algoritmaların tanıtıldığı bölümdür.
- **Bölüm 4:** Bölüm 4, farklı çalışma koşulları altına ele alınan tıkanıklık problemi için yapılan benzetim çalışmaları ve bu benzetim çalışmalarından elde edilen sonuçların değerlendirildiği bölüm olarak sunulmaktadır.
- **Bölüm 5:** Bu bölüm, sonuç ve önerilerin tartışıldığı yerdir.

2. GÜÇ SİSTEMLERİNDE TIKANIKLIK YÖNETİMİ PROBLEMİNİN TANIMLANMASI

Modern güç sistemlerinde, serbestleştirilmiş elektrik enerjisi piyasasına geçildikten sonra enerji şirketlerinin en çok karşılaştığı problemlerden biri iletim hatlarında tıkanıklık olaylarıdır. Tıkanıklık olaylarının giderilmesi için tıkanıklık yönetiminin ele alınması gerekmektedir. Tıkanıklık yönetiminin temel amacı, belirlenen eşitlik ve eşitsizlik kısıtları içerisinde jeneratörlerin aktif güç üretiminin arttırılması veya azaltılması durumuna göre yeniden planlanarak toplam tıkanıklık maliyetini en aza indirerek iletim hatlarındaki tıkanıklığın gidermektir. Problemin matematiksel modeli aşağıda detaylı bir şekilde verilmektedir.

2.1 PROBLEMİN MATEMATİKSEL MODELİ

Modern güç sistemlerinde meydana gelen tıkanıklık probleminin modelleme aşamaları aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

2.1.1 Probleminin Toplam Maliyet Fonksiyonu

Modern güç sistemlerindeki termal yakıtlı jeneratörlerin aktif güç üretimindeki değişiklikler ve GENCO'lar tarafından sunulan fiyat tekliflerinin dahil edildiği toplam tıkanıklık maliyetinin matematiksel ifadesi Denklem 2.1'de gösterilmektedir.

$$TTM_C = \sum_{k \in N_G} C_k \Delta P_{Gk}^+ + D_k \Delta P_{Gk}^- \quad (2.1)$$
$$\Delta P_{Gk}^+ = P_{Gk} - P_{Gk}^C, \quad \Delta P_{Gk}^- = P_{Gk}^C - P_{Gk}$$

2.1.2 Probleminin Eşitlik Kısıtları

Problemin eşitlik kısıtları modern güç sistemlerinin analiz için kullanılan güç akışı denklemleri kullanılarak formülize edilmektedir. Denklem 2.2 ve Denklem 2.3 güç sistemlerindeki her bir baranın aktif ve reaktif güç akışı dengesini gösterirken, Denklem 2.4 ve Denklem 2.5 ise piyasa takas fiyatının fonksiyonu olan nihai gücü ifade etmektedir.

$$P_{Gk} - P_{Dk} = \sum_j |V_j| |V_k| |Y_{kj}| \cos(\delta_k - \delta_j - \theta_{kj}) \quad j = 1, 2, \dots, N_B \quad (2.2)$$

$$Q_{Gk} - Q_{Dk} = \sum_j |V_j| |V_k| |Y_{kj}| \sin(\delta_k - \delta_j - \theta_{kj}) \quad j = 1, 2, \dots, N_B \quad (2.3)$$

$$P_{Gk} = P_{Gk}^C + \Delta P_{Gk}^+ - \Delta P_{Gk}^- \quad k = 1, 2, \dots, N_G \quad (2.4)$$

$$P_{Dj} = P_{Dj}^C \quad j = 1, 2, \dots, N_D \quad (2.5)$$

2.1.3 Probleminin Eşitsizlik Kısıtları

Modern güç sistemlerinde meydana gelen tıkanıklık probleminin giderilmesi için kullanılacak CM stratejisi için güç sistemindeki jeneratörler üretim sınırları, iletim hatlarının çalışma ve fiziksel sınırları eşitsizlik kısıtları olarak problemin tasarımına eklenmektedir. Eşitsizlik kısıtları aşağıdaki gibi matematiksel olarak gösterilmektedir.

$$P_{Gk}^{min} \leq P_{Gk} \leq P_{Gk}^{maks} \quad \forall k \in N_G \quad (2.6)$$

$$Q_{Gk}^{min} \leq Q_{Gk} \leq Q_{Gk}^{maks} \quad \forall k \in N_G \quad (2.7)$$

$$(P_{Gk} - P_{Gk}^{min}) = \Delta P_{Gk}^{min} \leq \Delta P_{Gk} \leq \Delta P_{Gk}^{maks} = (P_{Gk}^{maks} - P_{Gk}) \quad (2.8)$$

$$V_n^{min} \leq V_n \leq V_n^{maks} \quad \forall n \in N_B \quad (2.9)$$

$$P_{ij} \leq P_{ij}^{maks} \quad (2.10)$$

Tıkanıklık yönetimi probleminde uygunluk fonksiyonu, problemde tanımlanan eşitsizlik kısıtlamaları penaltı fonksiyonlarına dönüştürülerek amaç fonksiyonuna eklenmesiyle elde edilmektedir. Bu çalışmada, test sistemlerinde yapılan güç akışı sonucunda yük baralarının gerilim değerleri, jeneratörlerin reaktif güç değerleri ve iletim hatlarından akan aktif güç değerleri ikinci dereceden penaltı fonksiyonu kabul edilerek Denklem 2.12'deki gibi uygulanmaktadır.

$$\begin{aligned}
\Delta V_j &= \begin{cases} (V_j^{min} - V_j); & \text{if } V_j \leq V_j^{min} \\ (V_j - V_j^{maks}); & \text{if } V_j \geq V_j^{maks} \end{cases} \\
\Delta P_G &= \begin{cases} (P_G^{min} - P_G); & \text{if } P_G \leq P_G^{min} \\ (P_G - P_G^{maks}); & \text{if } P_G \geq P_G^{maks} \end{cases} \\
\Delta Q_G &= \begin{cases} (Q_G^{min} - Q_G); & \text{if } Q_G \leq Q_G^{min} \\ (Q_G - Q_G^{maks}); & \text{if } Q_G \geq Q_G^{maks} \end{cases}
\end{aligned} \tag{2.11}$$

$$\begin{aligned}
Min \quad F &= C_c + \gamma_1 \times \sum_{i=1}^{ovl} (P_{ij} - P_{ij}^{maks})^2 + \gamma_2 \times \sum_{j=1}^{VN} (\Delta V_j)^2 + \gamma_3 \times (\Delta P_G)^2 \\
&+ \gamma_4 \times (\Delta Q_G)^2
\end{aligned} \tag{2.12}$$

Denklem 2.12’de F minimizasyonu yapılacak uygunluk fonksiyonunu göstermektedir. Ceza katsayıları değerleri 100 olarak seçilmiştir.

3. METASEZGİSEL OPTİMİZASYON ALGORİTMALARI

Modern güç sistemlerinde serbestleştirilmiş elektrik enerjisi piyasasında, güç sistemini optimal koşullarda çalıştırılması büyük önem arz etmektedir. Bu koşullar altında sistem çalıştırılırken, serbest piyasa enerji şirketlerinin en çok karşılaştığı işletme problemi iletim hatlarında tıkanıklık olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu durum göz önünde bulundurulduğunda, sistemin tüm çalışma koşullarına bağlı olarak tıkanıklık problemi bir optimizasyon problemi olarak tanımlanmaktadır. İletim hatlarında meydana gelen tıkanıklığın giderilmesinde CM stratejisi olarak son zamanlarda literatüre sunulan balçık küfü algoritması (SMA) [29] ve tazmanyacı canavarı optimizasyon (TDO) [30] algoritması kullanılmış ve bu algoritmalara ait detaylı bilgi bu bölümde verilmiştir.

3.1 BALÇIK KÜFÜ ALGORİTMASI

SMA, hava kokuları ile ilgili olarak balçık kalıbının gıda erişiminin doğal salınım modeli baz alınarak Li vd. tarafından 2020 yılında geliştirilmiş ve literatüre sunulmuş popülasyon tabanlı bir optimizasyon algoritmasıdır. Bu algoritma, yiyeceğe yaklaşma, yiyeceği sarma ve osilasyon olarak adlandırılan üç temel aşamada modellenerek tasarımı gerçekleştirilmiştir [29, [31]-[34].

3.1.1 Yiyeceklere Yaklaşma Davranışı

Havada bulunan koku balçık küfünün yiyeceklere yaklaşmasını sağlamakta olup, balçık küfünün büzülme aşaması ve yiyecek arama sürecinde davranış modelinin matematiksel olarak simule edilmesi ve problem uzayındaki çözüm adaylarının konumunun güncellenmesi Denklem 3.1’de gösterilmektedir.

$$\overrightarrow{X}(t+1) = \begin{cases} \overrightarrow{X}_b(t) + \overrightarrow{vb} \cdot (\overrightarrow{W} \cdot \overrightarrow{X}_A(t) - \overrightarrow{X}_B(t)), & r < p \\ \overrightarrow{vc} \cdot \overrightarrow{X}(t), & r \geq p \end{cases} \quad (3.1)$$

$\overrightarrow{vb}$ [-a, a] aralığında bir parametreyi ve $\overrightarrow{vc}$ birden sıfıra doğru doğrusal olarak azalan bir sayıyı tanımlamaktadır. Arama uzayında en yüksek koku konsantrasyonuna sahip çözüm adayının konumu $\overrightarrow{X}_b$ ile ifade edilmektedir. t şuanaki iterasyon sayısını, $\vec{X}$ ise balçık kalıbının konumunu

göstermektedir. $\vec{W}$ balçık kalıbının ağırlığı, $\vec{X}_A$ ve $\vec{X}_B$ çözüm uzayından rastgele seçilen iki birey olarak açıklanmaktadır. p değeri aşağıdaki gibi formülize edilmektedir.

$$p = \tanh|S(i) - DF| \quad (3.2)$$

Burada, $i \in 1,2,...,n$ $\vec{X}$ 'in uygunluk fonksiyonu değerleri $S(i)$ ile gösterilmektedir. DF optimizasyon süreci boyunca her bir iterasyondaki en iyi uygunluk değerini ifade eder. Denklem 3.1'de kullanılan $\vec{vb}$ ve $\vec{W}$ 'nin matematiksel olarak gösterimi Denklem 3.3 ve Denklem 3.4'te formülize edilmektedir.

$$\begin{aligned} \vec{vb} &= [-a, a] \\ a &= \arctan h \left(-\left(\frac{t}{maks_t} \right) + 1 \right) \end{aligned} \quad (3.3)$$

$$\begin{aligned} \vec{W}(\text{Smellindeks}(i)) &= \begin{cases} 1 + r \cdot \log \left(\frac{bF - S(i)}{bF - wF} + 1 \right), \text{koşul} \\ 1 - r \cdot \log \left(\frac{bF - S(i)}{bF - wF} + 1 \right), \text{diğer} \end{cases} \\ \text{Smellindeks} &= \text{sort}(S) \end{aligned} \quad (3.4)$$

r , $[0,1]$ arasında rasgele üretilen bir sayı olarak tanımlanmaktadır. $maks_t$; optimizasyon sürecinde maksimum iterasyon sayısını gösterirken, bF ; şuan ki iterasyondaki en iyi uygunluk değerini, wF ; ise en kötü uygunluk değerini göstermektedir. Smellindeks arama uzayındaki uygunluk fonksiyonu değerlerinin minimumdan maksimuma veya maksimumdan minimuma sıralanması olarak açıklanmaktadır.

3.1.2 Yiyeceklere Sarma Davranışı

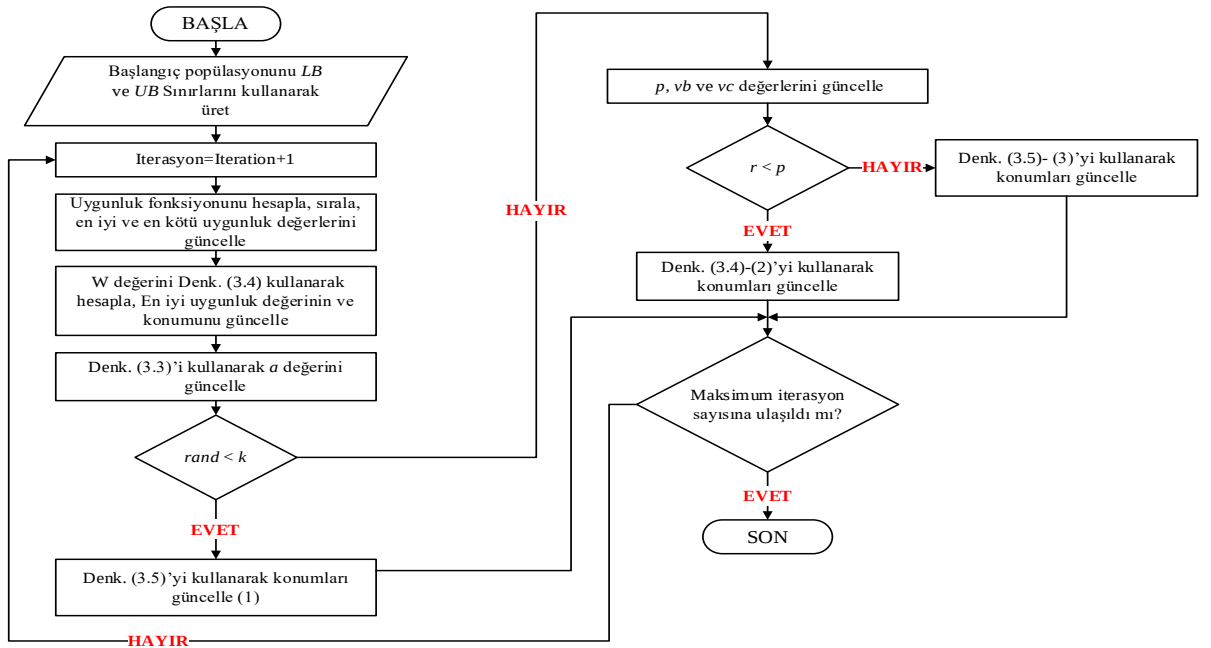
Besin konsantrasyonunun yeterli olduğu bölgelerde ağırlık oranının fazla, konsantrasyonunun düşük olduğu bölgelerde ağırlık oranının az olduğu düşünüldüğünde SMA, diğer besin bölgelerini keşfedebilmek için yönelme hareketini yapmaktadır. Bu harekete bağlı olarak, çözüm uzayındaki balçık kalıbının yerinin güncellenmesinin matematiksel modeli Denklem 3.5'te gösterilmektedir.

$$\vec{X}^* = \begin{cases} rand.(UB - LB) + LB, & rand < z \\ \vec{X}_b(t) + \vec{vb} \cdot (W \cdot \vec{X}_A(t) - \vec{X}_B(t)), & r < p \\ \vec{vc} \cdot \vec{X}(t), & r \geq p \end{cases} \quad (3.5)$$

Burada, UB ve LB , problemin optimize edilecek değişkenlerine ait üst ve alt sınırları ifade etmektedir. $rand$ ve r , $[0,1]$ aralığında rastgele bir sayıyı gösterir. Keşif ve kullanım arasındaki dengeyi koruyan sabit z olarak tanımlanmaktadır.

3.1.3 Osilasyon Davranışı

Algoritma, daha iyi bir gıda konsantrasyonunu bulmak için balçık kalıbının çeşitli varyasyonlarında $\vec{W}$, $\vec{vb}$ ve $\vec{vc}$ parametreleri vasıtasıyla benzetim modeli oluşturmaktadır. $\vec{W}$ ile matematiksel olarak modellenmiş bire yakın balçık küfünün salınım frekansı; balçık kalıbının besin kaynakları içerisinde yiyecek konsantrasyonu yüksek olanın kaliteli yiyeceğe daha hızlı, yiyecek konsantrasyonu düşük olanın yiyeceğe daha yavaş yaklaşmasını sağlamaktadır. $\vec{vb}$ değeri $[-a, a]$ arasında rastgele salınım yaparken, optimizasyon işlemi boyunca iterasyon sayısının artmasıyla kademeli olarak sıfır değerine yaklaşmaktadır. $\vec{vc}$ değeri $[-1,1]$ arasında salınım yapar ve optimizasyon süreci sonunda maksimum iterasyon sayına ulaşıldığında sıfıra düşmektedir. SMA'nın akış diyagramı Şekil 3.1'de gösterilmektedir.



Şekil 3-1: SMA akış diyagramı

3.2 TAZMANYA CANAVARI OPTİMİZASYON ALGORİTMASI

Tazmania ada eyaletinde yaşayan Dasyuridae ailesinden gelen etobur ve keseli bir hayvan olan tazmania canavarları vahşi ve fırsatçı hayvanlar olarak tanımlanmaktadır. Bu hayvanlar, avlanabilmelerine rağmen varsa leşle de beslenmektedirler. Bu durum göz önünde bulundurulduğunda, tazmania canavarının beslenmek için iki farklı stratejiye sahip olduğu ifade edilmektedir. Birincisi, bir leş bulursa onunla beslenme olarak tanımlanmakta olup, ikincisi, avına saldırarak avlanarak beslenmedir. Dehghani vd., tazmania canavarlarının bu beslenme sırasındaki doğal davranışlarından esinlenerek modelledikleri TDO [30] algoritmasını 2022 yılında literatüre sunmuşlardır. Tazmania canavarlarının yaşamlarındaki beslenme davranışı model aldığından dolayı, tazmania canavarının farklı alanlardaki yiyecek kaynaklarını bulma konusundaki arama davranışı optimizasyon sürecindeki keşif indeksi olarak modellenirken, sınırlı bir alanda meydana gelen av arasındaki kovalama süreci, optimal çözüme yakınsama amacıyla yerel aramadaki sömürü indeksi olarak modellenmektedir. Tazmania canavarlarının besin kaynaklarına ulaşma stratejilerinin TDO algoritmasının tasarımında kullanılması aşağıdaki alt bölümlerde detaylı bir şekilde anlatılmaktadır [30][35][36].

3.2.1 TDO Algoritmasının Başlangıç Popülasyonu Oluşturma

TDO, arama uzayındaki çözüm adayları tazmania canavarları olan popülasyona dayalı bir sezgisel optimizasyon olarak ifade edilmektedir. Bu algorithmada, çözüm uzayı oluşturulurken başlangıç popülasyonu, problemin kısıtlarına bağlı olarak rasgele oluşturulmaktadır. TDO algoritmasında oluşturulan başlangıç popülasyonu Denklem 3.6'da gösterilmektedir.

$$X = \begin{bmatrix} X_1 \\ \vdots \\ X_i \\ \vdots \\ X_N \end{bmatrix}_{N \times m} = \begin{bmatrix} x_{1,1} & \cdots & x_{1,j} & \cdots & x_{1,m} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{i,1} & \cdots & x_{i,j} & \cdots & x_{i,m} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{N,1} & \cdots & x_{N,j} & \cdots & x_{N,m} \end{bmatrix}_{N \times m} \quad (3.6)$$

X TDO algoritmasının popülasyon sayısını, X_i çözüm uzayındaki i 'ninci çözüm adayını, $x_{i,j}$ j 'inci değişkenin değerini, N algoritmanın popülasyon sayısını, ve m ise optimize edilecek problemin değişken sayısını ifade etmektedir. Optimize edilecek problemin amaç fonksiyonu her

bir çözüm adaylarının amaç fonksiyonu değerlerinin hesaplanmasıyla elde edilmektedir. Bu durum, matematiksel olarak Denklem 3.7’de detaylı bir şekilde gösterilmektedir.

$$F = \begin{bmatrix} F_1 \\ \vdots \\ F_i \\ \vdots \\ F_N \end{bmatrix}_{N \times 1} = \begin{bmatrix} F(X_1) \\ \vdots \\ F(X_i) \\ \vdots \\ F(X_N) \end{bmatrix}_{N \times 1} \quad (3.7)$$

Amaç fonksiyonunun değerleri F vektörü ile gösterilmektedir. F_i i ’ninci çözüm adayı tarafından elde edilen amaç fonksiyonun değeri olarak tanımlanmaktadır. Çözüm uzayında en iyi amaç fonksiyonun bulunmasını sağlayan çözüm adayı popülasyonun en iyi üyesi olarak kabul edilmektedir. Çözüm uzayındaki en iyi çözüm adayı her bir iterasyonda yeni değerlere göre güncellenmektedir. Algoritmada, çözüm uzayının veya popülasyonun güncellenme süreci, iki tazmanya canavarının leş veya avlanarak beslenme stratejisine göre modellenmiştir. TDO’da bu stratejilerin seçilme olasılığı %50’ye eşit olduğu kabul edilmektedir. Bu kurala göre, TDO’nun her bir iterasyonunda her tazmanya canavarları veya çözüm adayları bu iki stratejiden yalnızca birine göre güncellenir.

3.2.2 Leş Yiyerek Beslenme Stratejisi

Tazmanya canavarları yaşadıkları bölgede bazen avlanmak yerine, büyük avları avlayan ve hepsini yiyemeyen başka yırtıcı hayvanların bıraktıkları leşlerle beslenmeyi tercih ederler. Tazmanya canavarlarının beslenmek için habitat alanındaki leşleri arama davranışı, algoritmanın problem çözüm uzayındaki arama sürecine benzer. Bu strateji, optimal çözüm alanını belirlemek için arama alanının farklı alanlarını tarayarak TDO keşif kabiliyetini arttırmaktır. Her bir tazmanya canavarı veya çözüm adayı için, arama uzayındaki diğer popülasyon üyelerinin konumunun leş konumları olduğu varsayılmakta olup, rasgele seçimi Denklem 3.8’de gösterilmektedir. Denklem 3.8’e göre k ’nıncı popülasyon üyesi i ’ninci çözüm adayı için hedef leş olarak seçilirken, k , 1’den N ’ye kadar rastgele seçilmelidir, tersi ise i olarak ifade edilmektedir.

$$C_i = X_k, \quad i = 1, 2, \dots, N, \quad k \in \{1, 2, \dots, N | k \neq i\}, \quad (3.8)$$

C_i ; tazmanya canavarı tarafından leş olarak tanımlanmaktadır. Seçilen leşe göre tazmanya canavarının arama alanında yeni bir konum hesaplanmakta olup, tazmanya canavarının hareket simülasyonunda leşin amaç fonksiyonu değeri daha iyi ise canavar leşe doğru hareket etmekte, aksi takdirde leşten uzaklaşmaktadır. Tazmanya canavarının hareket davranışı Denklem 3.9'da matematiksel olarak tanımlanmaktadır.

$$x_{i,j}^{yeni,S1} = \begin{cases} x_{i,j} + r \times (c_{i,j} - I \times x_{i,j}), & F_{Ci} < F_i \\ x_{i,j} + r \times (x_{i,j} - c_{i,j}), & \text{aksi taktirde} \end{cases} \quad (3.9)$$

$x_{i,j}^{yeni,S1}$; j 'ninci değişkenin değerini, F_{Ci} ; seçilen leşin amaç fonksiyonu değerini, r ; $[0, 1]$ arasında rastgele bir sayıyı ve I ; 1 veya 2 olabilen rastgele bir sayı olarak tanımlanmaktadır. Tazmanya canavarının Denklem 3.9'a göre yeni konumu hesaplandıktan sonra, bu yeni konumdaki amaç fonksiyonunun değeri daha iyi ise bu konum çözüm adayının yeni konumu olarak kabul edilir, aksi takdirde tazmanya canavarı önceki konumunu korur. Bu durum, Denklem 3.10'da matematiksel olarak formülize edilmektedir.

$$X_i = \begin{cases} X_i^{yeni,S1}, & F_i^{yeni,S1} < F_i \\ X_i, & \text{aksi taktirde} \end{cases} \quad (3.10)$$

$X_i^{yeni,S1}$; i 'ninci tazmanya canavarının bu stratejiye dayalı yeni konumu, $F_i^{yeni,S1}$ ise yeni konumun amaç fonksiyon değerini açıklamaktadır.

3.2.3 Av Yemekle Beslenme Stratejisi

Tazmanya canavarının bu beslenme stratejisinde sergilediği davranış iki aşamada açıklanmaktadır. Birincisi, tazmanya canavarı bölgeyi tarayarak avını seçer ve ona saldırır. İkicisi ise, avına yaklaştıktan sonra onu durdurmak ve yemeye başlamaktır. Av seçimi ve saldırının ilk aşaması Denklem 3.11'den Denklem 3.13'e kadarki matematiksel ifadeler kullanarak modellenmiştir. k 'nıncı popülasyon üyesi av olarak rastgele seçilirken, k , 1 ile N arasında ve i 'nin tersi arasında doğal bir rastgele sayı olarak tanımlanır. Av seçim süreci Denklem 3.11'de modellenmiştir.

$$P_i = X_k, \quad i = 1, 2, \dots, N, \quad k \in \{1, 2, \dots, N | k \neq i\}, \quad (3.11)$$

P_i ; i 'ninci tazmanyaya canavarının seçtiği av olarak tanımlanır. Avın konumu belirlendikten sonra tazmanyaya canavarı veya çözüm adayı için çözüm uzayında yeni bir konum hesaplanmaktadır. Bu yeni konumun hesaplanmasında seçilen avın amaç fonksiyonu değeri daha iyi ise tazmanyaya canavarı ona doğru hareket etmekte, aksi halde o konumdan uzaklaşmaktadır. Bu hareket davranışının modellenmesi Denklem 3.12'de gösterilmektedir. Tazmanyaya canavarı için hesaplanan yeni konum, hedef fonksiyonun değerini iyileştirdiği takdirde önceki konumun yerine geçmekte, aksi takdirde tazmanyaya canavarı önceki konumunu korumaktadır. Bu durum, Denklem 3.13'da matematiksel olarak gösterilmektedir.

$$x_{i,j}^{yeni,S2} = \begin{cases} x_{i,j} + r \times (p_{i,j} - I \times x_{i,j}), & F_{Pi} < F_i \\ x_{i,j} + r \times (x_{i,j} - p_{i,j}), & \text{aksi taktirde} \end{cases} \quad (3.12)$$

$$X_i = \begin{cases} X_i^{yeni,S2}, & F_i^{yeni,S2} < F_i \\ X_i, & \text{aksi taktirde} \end{cases} \quad (3.13)$$

$X_i^{yeni,S2}$; i 'ninci tazmanyaya canavarının bu stratejiye göre yeni konumu, $x_{i,j}^{yeni,S2}$; j 'ninci değişkenin değeri, $F_i^{yeni,S2}$; yeni konumun avın amaç fonksiyon değerini ve F_{Pi} ; seçilen avın amaç fonksiyon değerini ifade etmektedir.

Bu strateji ile ilk strateji arasındaki temel fark, ikinci aşama ve av kovalama davranışdır. Saldırı alanının yakınındaki avın kovalanması, çözüm uzayındaki arama alanının yerel olarak aranmasına benzemektedir. Bu tazmanyaya canavarı davranışı algoritmanın daha iyi aday çözümlere yaklaşmak için yararlanma yeteneğini göstermektedir. Tazmanyaya canavarının av kovalama davranışı, Denklem 3.14 ile Denklem 3.16 arasındaki matematiksel ifadeler kullanılarak modellenmiştir. Tazmanyaya canavarının konumu, av kovalama sürecinin gerçekleştiği bir mahallenin merkezi olarak kabul edilmekte olup, bu mahallenin yarıçapı tazmanyaya canavarının avını takip ettiği mesafeyi belirtmekte olup ve bu mesafe Denklem 3.14'te gösterilmektedir. Denklem 3.15'de tazmanyaya canavarının avını kovalama sürecine dayalı yeni bir konumun hesaplanması ifade edilmektedir. Yeni hesaplanan konum, eğer amaç fonksiyonu için önceki konumuna göre daha iyi bir değer sağlıyorsa, önceki konumun yerine geçmekte, aksi takdirde tazmanyaya canavarı önceki konumunu korumaktadır. Bu durum Denklem 3.16'da simule edilmiştir.

$$R = 0.01 \times \left(1 - \frac{t}{T}\right) \quad (3.14)$$

$$x_{i,j}^{yeni} = x_{i,j} + (2r - 1) \times R \times x_{i,j} \quad (3.15)$$

$$X_i = \begin{cases} X_i^{yeni}, & F_i^{yeni} < F_i \\ X_i, & \text{aksi takdirde} \end{cases} \quad (3.16)$$

R ; saldırılan konum noktasının komşuluk yarıçapını, t şu anki iterasyon değerini, T maksimum iterasyon sayısını, X_i^{yeni} ; i 'ninci tazmanyaya canavarının X_i komşuluğundaki yeni değeri, $x_{i,j}^{yeni}$; j 'ninci değişkenin yeni değeri ve F_i^{yeni} ; yeni amaç fonksiyonu değerini ifade etmektedir.

4. BULGULAR

Bu bölüm, serbestleştirilmiş elektrik enerjisi piyasasında en çok karşılaşılan iletim hatlarında tıkanıklık probleminin çözümü için SMA ve TDO algoritmalarına dayalı CM yaklaşımından elde edilen benzetim sonuçlarını sunmaktadır. Benzetim çalışmaları dört farklı tıkanıklık senaryosu altında değiştirilmiş IEEE 30-bara ve IEEE 57-bara test sistemlerinde gerçekleştirilmiştir.

4.1 BENZETİM ÇALIŞMALARININ SONUÇLARI

Benzetim çalışmaları MATLAB yazılım paketi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, güç sistemleri için güç akışı eşitlikleri ve sonuçlarının elde edilmesi MATPOWER paket program vasıtasıyla elde edilmiştir [37][38]. İki test sistemi üzerinde gerçekleştirilen benzetim senaryoların detayları aşağıdaki gibi verilmiştir.

- *Senaryo 1A:* Değiştirilmiş IEEE 30-bara test sisteminin 1-2 hattının devre dışı kalması,
- *Senaryo 1B:* Değiştirilmiş IEEE 30-bara test sisteminin 1-7 hattının devre dışı kalması ve tüm yük baralarındaki yük değerlerinin %50 oranında artması,
- *Senaryo 2A:* Değiştirilmiş IEEE 57-bara test sisteminde 5-6 ve 6-12 numaralı hatların kapasitesinin sırasıyla 200 MW'tan 175 MW'a ve 50 MW'tan 35 MW'a düşürülmesi,
- *Senaryo 2B:* Değiştirilmiş IEEE 57-bara test sisteminde hat 2-3'ün kapasitesinin 85 MW'tan 20 MW'a düşürülmesi,

4.1.1 IEEE 30-Bara Test Sisteminin Benzetim Sonuçları

Benzetim çalışmaları için değiştirilmiş IEEE 30 bara test sistemi kullanılmış olup, test sistemi 6 genertör, 24 yük barası ve 41 iletim hattından oluşmaktadır. Ayrıca, 24 yük barasından toplam talep edilen aktif güç ve reaktif güç değerleri, sırasıyla, 283.4 MW ve 126.2 MVAR'dır [39]. Benzetim çalışmaları için Senaryo 1A ve Senaryo 1B'de, hat kesintisi, hat kesintisi ve tüm yük baralarındaki yük değerlerinin beklenmedik bir şekilde değişmesi gibi tıkanıklık senaryoları değiştirilmiş IEEE 30-bara test sisteminde oluşturulmuştur.

Üretim şirketleri tarafından bağımsız sistem operatörlerine sunulan fiyat teklifleri ve test sisteminde bulunan jeneratörlerin aktif ve reaktif güç limitleri Tablo 4.1’de [4] gösterilmiştir. Senaryo 1A ve Senaryo 1B için değiştirilmiş IEEE 30-bus test sistemindeki sıkışık hatlar ve bu hatlardan akan aktif güç değerleri Tablo 4.2’de verilmiştir [6].

Tablo 4-1: Değiştirilmiş IEEE 30-bara jeneratör verileri ve fiyat teklifi değerleri

Bara No	$P_G^{\min}$ (MW)	$P_G^{\max}$ (MW)	$Q_G^{\min}$ (MVAR)	$Q_G^{\max}$ (MVAR)	P_G^C (MW)	GENCO’lar tarafından verilen fiyat teklifleri	
						C_k	D_k
1	0	360.2	-30	100	138.59	22	18
2	20	140	-30	100	57.56	21	19
3	15	100	-30	100	24.56	42	38
4	10	100	-30	100	35.00	43	37
5	10	100	-30	100	17.93	43	35
6	12	100	-30	100	16.91	41	39

Tablo 4-2: Değiştirilmiş IEEE 30-bara test sistemi için senaryolara göre tıkanık hat verileri

Senaryo Durumları	Tıkanık Hatlar	Hatlardan Akan Güç (MW)	Hat Sınırları (MW)
Senaryo 1A	1-7	147.463	130
	7-8	136.292	130
	1-2	310.917	130
Senaryo 1B	2-8	97.353	65
	2-9	103.524	65

Tablo 4.1’deki test sisteminin başlangıç koşulları ve Tablo 4.2’deki senaryo durumlarına göre benzetim çalışmaları yapıldığında, Senaryo 1A’da 1-7 ve 7-8, Senaryo 1-2, 2-8 ve 2-9 hatlarından akan aktif güç değerleri belirlenen sınır değerlerin üzerinde olduğu Tablo 4.2’de açık bir şekilde gösterilmektedir. Bu benzetim senaryoları sonucunda iletim hatlarında tıkanıklık olayları meydana gelmektedir. İletim hatlarındaki tıkanıklık problemini gidermek için test sistemindeki jeneratörlerin ürettikleri aktif güç değerlerinin yeniden programlanması Denklem 2.1’de verilen toplam tıkanık maliyetinin minimizasyonu ile yapılmaktadır. Bu çalışmada, toplam

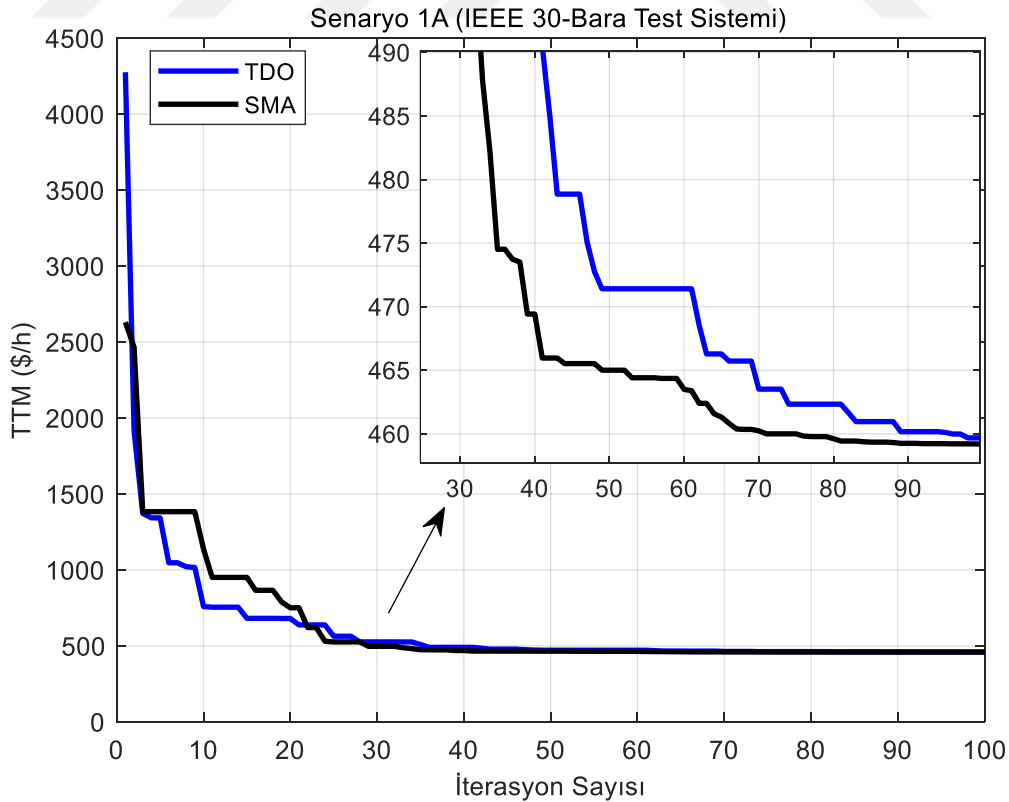
tıkanıklık maliyetinin minimizasyonu meta-sezgisel optimizasyon algoritmalarından SMA ve TDO algoritmaları kullanılarak yapılmıştır. Benzetim senaryoları için yapılan optimizasyon sürecinin sonunda elde edilen sonuçlar ve literatür karşılaştırılması Tablo 4.3 ve Tablo 4.4’de verilmektedir.

Tablo 4-3: Senaryo 1A için SMA ve TDO algoritmalarından elde edilen sonuçların literatürdeki diğer sonuçlar ile karşılaştırılması

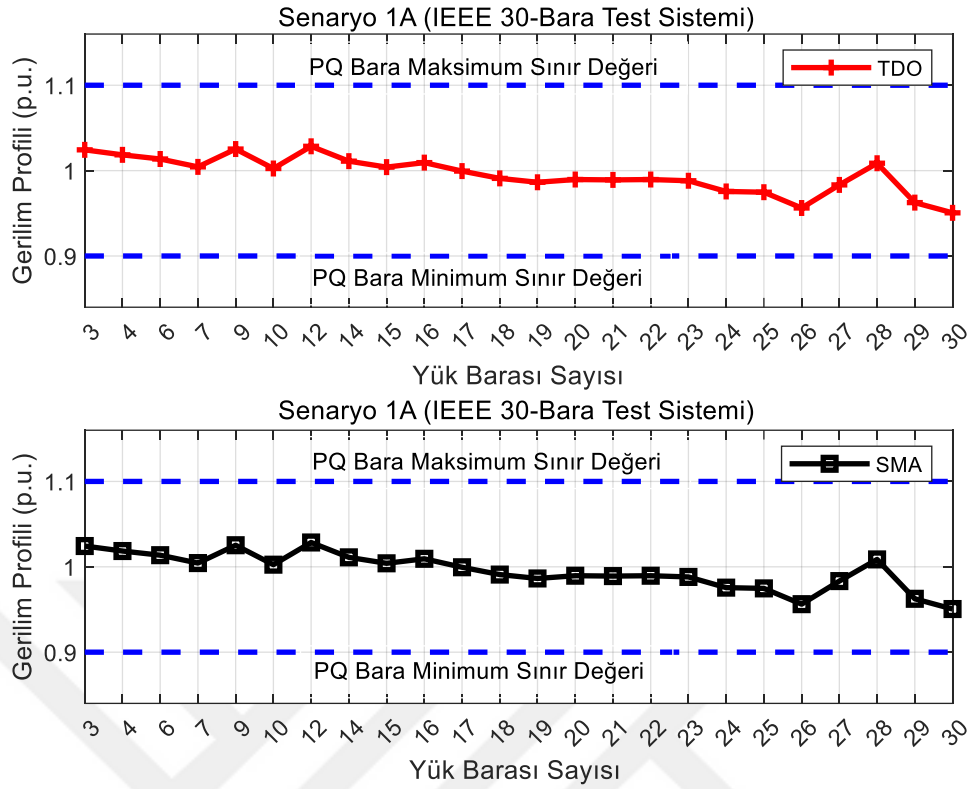
Parametreler	Algoritmalar					
	FFA [6]	PSO [4]	RSM [4]	SA [4]	BA [1]	CBA [1]
TTM _C (\$/h)	511.8737	538.95	716.25	719.861	496.78	482.023
PF (Hat 1-7)	129.812	129.97	129.78	129.51	-	-
PF (Hat 7-8)	120.617	120.78	120.60	120.35	-	-
ΔP_{G1} (MW)	-8.7783	-8.6123	-8.8086	-9.0763	-9.01	-8.694
ΔP_{G2} (MW)	+15.0008	+10.4059	+2.6473	+3.1332	+13.969	+13.917
ΔP_{G3} (MW)	+0.1068	+3.0344	+2.9537	+3.2345	+0.102	-0.016
ΔP_{G4} (MW)	+0.0653	+0.0170	+3.0632	+2.9681	+0.301	+0.109
ΔP_{G5} (MW)	+0.1734	+0.8547	+2.9136	+2.9540	+0.523	+0.349
ΔP_{G6} (MW)	-0.6180	-0.0122	+2.9522	+2.4437	+0.035	+0.317
JTYP (MW)	24.7425	22.936	23.339	23.809	23.943	23.402

Parametreler	Algoritmalar					
	FPA [1]	ALO [1]	TLBO [8]	SOS [9]	TDO	SMA
TTM _C (\$/h)	519.62	480.0438	494.66	460.827	459.6804	459.1921
PF (Hat 1-7)	-	129.5	130	130	129.9993	129.9999
PF (Hat 7-8)	-	120.79	120.78	120.78	123.0755	123.0759
ΔP_{G1} (MW)	-9.1278	-9.0880	-8.5876	-8.588	-8.6063	-8.6057
ΔP_{G2} (MW)	+14.14	+15.0668	+12.9855	+14.581	+14.4715	+14.4864
ΔP_{G3} (MW)	-0.206	+0.0000	+0.4598	0.000	-0.0016	+0.0003
ΔP_{G4} (MW)	-0.0188	+0.0001	+0.7289	0.000	+0.0060	+0.0001
ΔP_{G5} (MW)	+0.189	+0.0002	-0.0093	0.000	+0.0063	+0.0002
ΔP_{G6} (MW)	+1.013	+0.0001	+0.3988	0.000	+0.0067	+0.0011
JTYP (MW)	24.703	24.1552	23.169	23.169	23.0984	23.0638

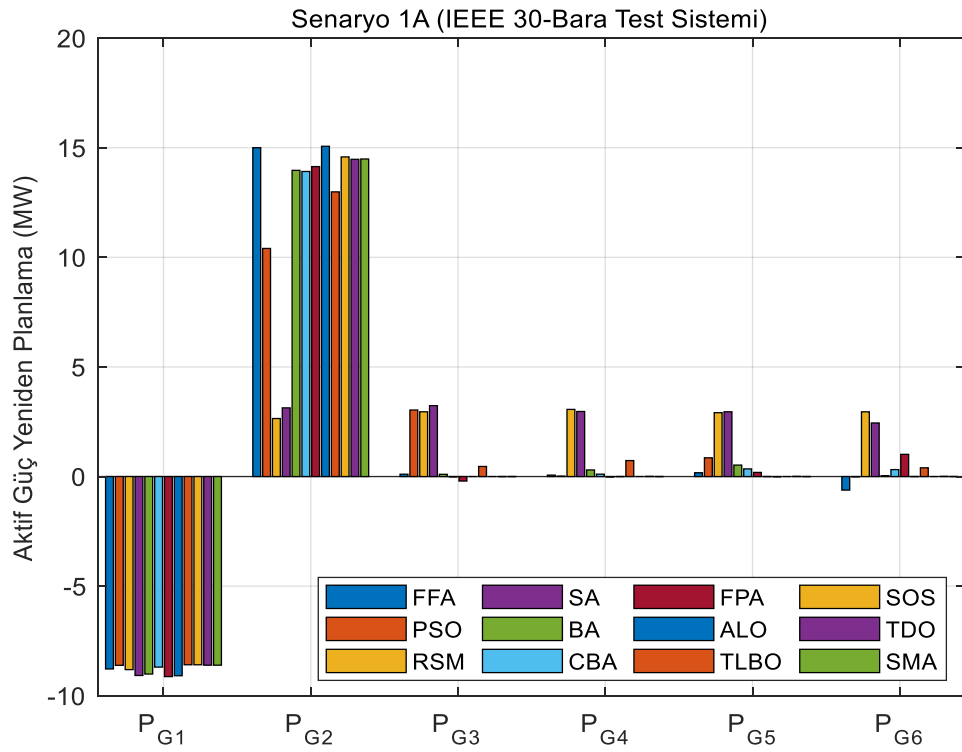
Senaryo 1A çalışmasında, değiştirilmiş IEEE 30-bara test sisteminin 1 ve 2 numaralı baralarının arasındaki hattın devre dışı kalması düşünülerek iletim hattında tıkanıklık oluşturulması amaçlanmıştır. Hattın devre dışı kalmasıyla, başlangıç koşullarına göre yapılan güç akışı sonucunda, 1-7 ve 7-8 numaralı baralara bağlı hatlarda güç akışlarının sırasıyla 147.463 MW ve 136.292 MW olduğu Tablo 4.2’den görülmektedir. Bu hatlar için maksimum güç akışı limitleri 130 MW olduğu için hatlarda tıkanıklık meydana gelmiş olup, jeneratörlerin aktif güç üretimlerinin belirlenen sınır değerleri içerisinde optimal değerde olacak şekilde SMA ve TDO algoritmalarıyla yeniden programlanarak iletim hatlarındaki tıkanıklık hafifletilmiştir. Önerilen optimizasyon algoritmalarından elde edilen sonuçlar Tablo 4.3’de detaylı bir şekilde verilmiştir. Tablo 4.3’den de görüldüğü gibi SMA ve TDO algoritmaların sonuçları literatürdeki diğer optimizasyon algoritmalarından elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçlarına göre, SMA algoritmasından elde edilen sonuçların problemde yerine konulduğunda elde edilen güç akışı sonuçlarına göre, hatlardaki tıkanıklığı giderildiği ve toplam tıkanıklık maliyetinin de en iyi değer olduğu Tablo 4.3’den açıkça görülmektedir. Başka bir ifadeyle, SMA algoritmasının sonucu literatürdeki en iyi iki değere sahip ALO ve SOS algoritmalarından sırasıyla 20.8517 \$/h ve 1.6349 \$/h daha azdır.



Şekil 4-1: Senaryo 1A için SMA ve TDO algoritmalarının toplam tıkanıklık maliyeti değerinin değişimi



Şekil 4-2: Senaryo 1A için yük baralarına ait gerilim değerleri



Şekil 4-3: Senaryo 1A için jeneratörlerin aktif güçlerinin yeniden programlama değerleri

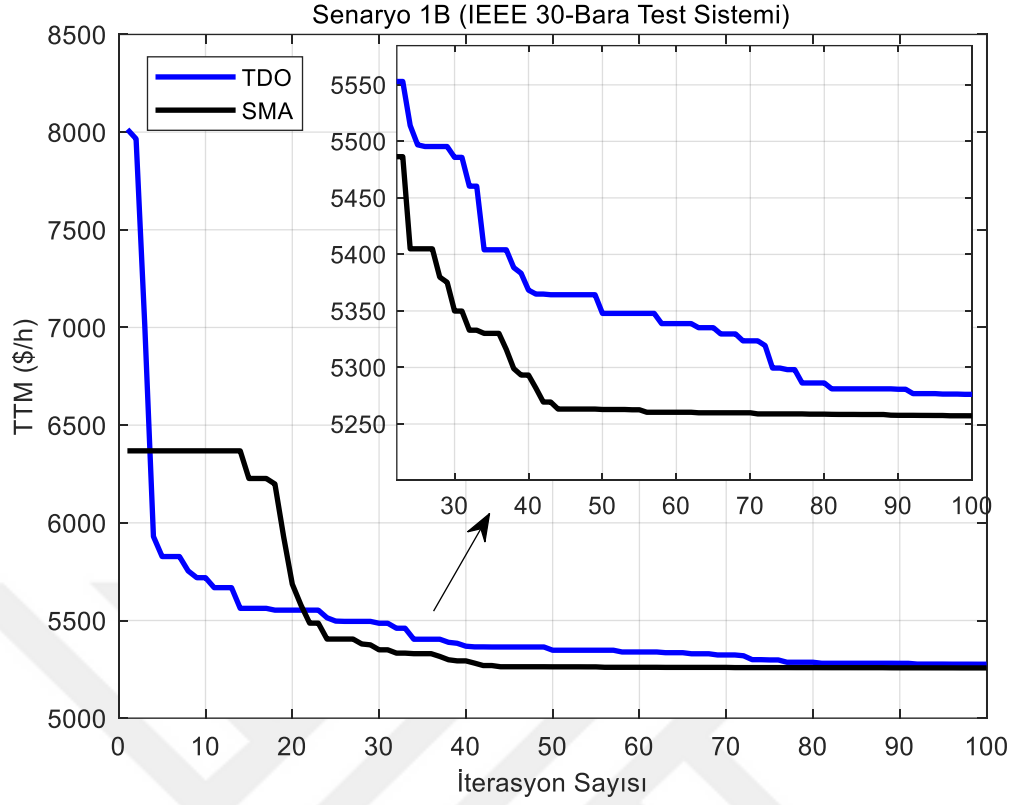
SMA ve TDO algoritmalarından elde edilen toplam tıkanıklık maliyeti (TTM) veya uygunluk fonksiyonu değerlerinin değişimini gösteren yakınsama eğrileri Şekil 4.1’de gösterilmektedir. SMA ve TDO algoritmalarının optimizasyon işlemi sonucunda elde edilen sonuçlarına göre, yük baralarına ait gerilim değerlerinin belirtilen limit değerleri içinde eşitsizlik kısıtlarını karşıladığı Şekil 4.2’de verilmiştir. Literatürdeki FFA, PSO, RSM, SA, BA, CBA, FPA, ALO, TLBO, SOS ve önerilen SMA ve TDO algoritmalarından elde edilen jeneratörlerin yeniden programlama değerleri Şekil 4.3’de gösterilmektedir.

Senaryo 1B benzetim çalışmasında, test sisteminin 1 ve 7 numaralı baralarına bağlı hattın devre dışı kalması ve sistemdeki tüm yük baralarının %50 oranında arttırılarak tıkanıklık senaryosu oluşturulmuştur. Hattın devre dışı kalması ve yük değerlerinin artmasıyla birlikte, 1-2, 2-8 ve 2-9 numaralı baralara bağlı hatlarda güç akışlarının sırasıyla 310.917 MW, 97.353 ve 103.524 MW olduğu yapılan güç akışı benzetim çalışmasından elde edilmiştir. Bu hatlar için maksimum güç akışı limitleri 130 MW ve 65 MW olduğundan bu hatlarda tıkanıklık problemi ortaya çıkmıştır. Önerilen SMA ve TDO algoritmalarıyla jeneratörlerin aktif güç değerlerinin yeniden programlanmasıyla hem sistemin TTM değeri minimize edilmiş hem de sistemin tıkanıklık problemi giderilmiştir. Senaryo 1B için önerilen algoritmalarından elde edilen sonuçlar ve literatürdeki diğer algoritmalarından elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmalı olarak Tablo 4.4’de detaylı bir şekilde verilmiştir. Tablo 4.4’de verilen karşılaştırmalı sonuçlara göre, SMA algoritması tarafından elde edilen TTM 5275.2658 \$/h ile en iyi değer olarak, literatürdeki en iyi sonuca sahip ALO ve SOS algoritmaların sonuçlarından sırasıyla %0.4072 ve %0.5257 daha iyidir.

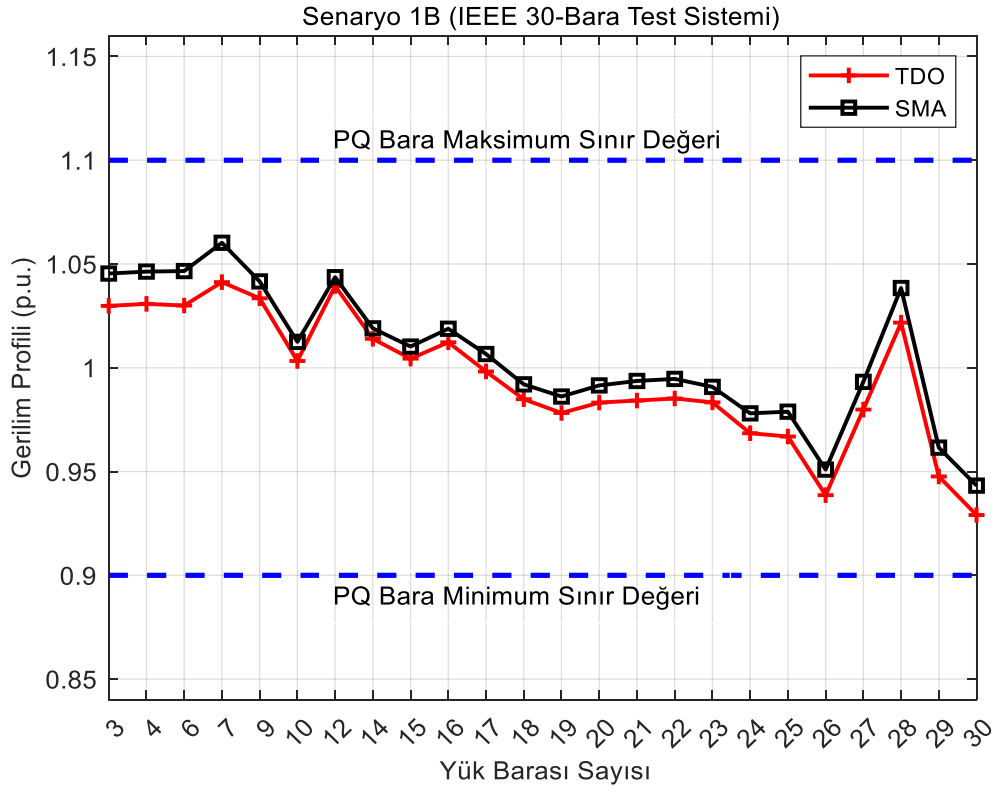
Tablo 4-4: Senaryo 1B için SMA ve TDO algoritmalarından elde edilen sonuçların literatürdeki diğer sonuçlar ile karşılaştırılması

Parametreler	Algoritmalar					
	FFA [6]	PSO [4]	RSM [4]	SA [4]	BA [1]	CBA [1]
TTM _C (\$/h)	5304.40	5335.5	5988.05	6068.7	5333.72	5302.4
PF (Hat 1-2)	130	129.7	129.91	129.78	-	-
PF (Hat 2-8)	62.713	61.1	52.36	51.47	-	-
PF (Hat 2-9)	64.979	64.67	55.43	54.04	-	-
ΔP_{G1} (MW)	-8.5798	-	-	-	-8.582	-8.361
ΔP_{G2} (MW)	+75.9954	-	-	-	+67.72	76.402
ΔP_{G3} (MW)	+0.0575	-	-	-	+11.27	0.071
ΔP_{G4} (MW)	+42.9944	-	-	-	+49.42	50.082
ΔP_{G5} (MW)	+23.8325	-	-	-	+13.15	17.227
ΔP_{G6} (MW)	+16.5144	-	-	-	+14.45	15.736
JTYP (MW)	167.974	168.03	164.55	164.53	164.61	168.15

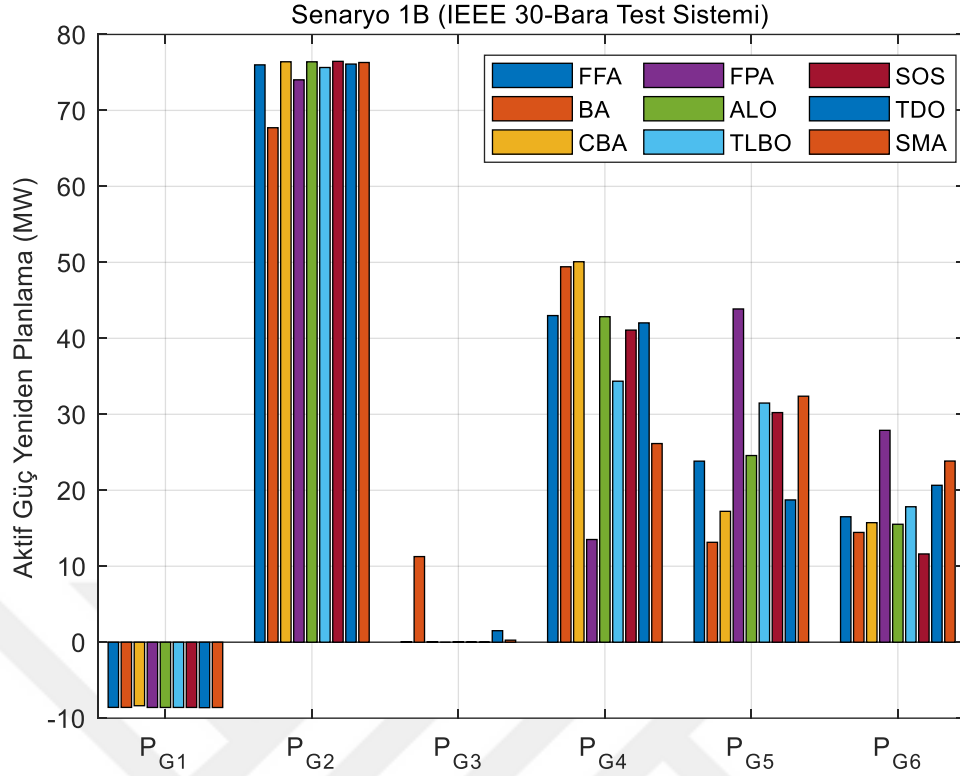
Parametreler	Algoritmalar					
	FPA [1]	ALO [1]	TLBO [8]	SOS [9]	TDO	SMA
TTM _C (\$/h)	5320.8	5296.75	5306.5	5303	5276.2510	5275.2658
PF (Hat 1-2)	-	130	130	130	129.4155	130.0000
PF (Hat 2-8)	-	60.404	62.34	63.11	62.4155	61.4903
PF (Hat 2-9)	-	65	65	65	64.9989	64.9974
ΔP_{G1} (MW)	-8.589	-8.588	-8.5876	-8.587	-8.6158	-8.5956
ΔP_{G2} (MW)	+74.024	+76.4	+75.65	+76.459	+76.1004	+76.0360
ΔP_{G3} (MW)	0.000	+0.056	+0.012	+0.0005	+1.5144	+0.2697
ΔP_{G4} (MW)	+13.5174	+42.844	+34.357	+41.083	+42.0308	+26.1489
ΔP_{G5} (MW)	+43.865	+24.571	+31.4791	+30.226	+18.7278	+32.3804
ΔP_{G6} (MW)	+27.89	+15.525	+17.83	+11.617	+20.6545	+23.8464
JTYP (MW)	167.896	167.98	168.088	167.975	167.6437	167.2770



Şekil 4-4: Senaryo 1B için SMA ve TDO algoritmalarının toplam tıkanıklık maliyeti değerinin değişimi



Şekil 4-5: Senaryo 1B için yük baralarına ait gerilim değerleri



Şekil 4-6: Senaryo 1B için jeneratörlerin aktif güçlerinin yeniden programlama değerleri

Şekil 4.4, SMA ve TDO algoritmalarının optimal çözüme yakınsama değişimlerini göstermektedir. Optimizasyon işlemi sonucunda, değiştirilmiş IEEE 30 bara test sisteminin yük baralarının gerilim değerleri Şekil 4.5'te gösterilmekte olup, bu değerler belirtilen sınırlar içerisinde kalmaktadır. Ayrıca, Şekil 4.6'da literatürde bu problemin çözümünde kullanılan algoritmalar ve önerilen SMA ve TDO algoritmalarından elde edilen jeneratörlerin yeniden programlama değerleri karşılaştırmalı olarak verilmektedir.

4.1.2 IEEE 57-Bara Test Sisteminin Benzetim Sonuçları

Bu bölümde yapılacak benzetim çalışmaları için IEEE 57 bara test sistemi kullanılmış olup, test sistemi yedi jeneratör barası, elli yük barası ve seksen iletim hattından oluşmaktadır. Test sistemindeki toplam aktif ve reaktif güç yükleri sırasıyla 1250.8MW ve 336MVAR'dır [40]. Bu test sistemi için dikkate alınan iki farklı senaryo durumu, Senaryo 2A ve Senaryo 2B'den [6] elden edilen güç akışı sonuçları Tablo 4.5'te sunulduğu gibidir. IEEE 57-bara test sistemi için üretim şirketleri tarafından bağımsız sistem operatörlerine sunulan fiyat teklifleri ve test sisteminde

bulunan jeneratörlerin aktif ve reaktif güç limitleri Tablo 4.6’da [4] verilmektedir. Değiştirilmiş IEEE 57-bara test sistemi için gerçekleştirilen Senaryo 2A ve Senaryo 2B’nin sonuçlarına göre Tablo 4.5’te gösterilen iletim hatlarındaki tıkanıklık olaylarını gidermek için test sistemindeki jeneratörlerin ürettikleri aktif güç değerlerinin yeniden programlanması SMA ve TDO algoritmaları tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, toplam tıkanıklık maliyetinin minimizasyonu sürecinin sonunda elde edilen TTM sonuçları ve literatürdeki diğer optimizasyon algoritmaları tarafından elde edilen sonuçlarla karşılaştırılması Tablo 4.7 ve Tablo 4.8’de verilmektedir.

Tablo 4-5: Değiştirilmiş IEEE 57-bara test sistemi için senaryolara göre tıkanık hat verileri

Senaryo Durumları	Tıkanık Hatlar	Hatlardan Akan Güç (MW)	Hat Sınırları (MW)
Senaryo 2A	5-6	195.971	175
	6-12	49.351	35
Senaryo 2B	2-3	37.048	20

Tablo 4-6: Değiştirilmiş IEEE 57-bara jeneratör verileri ve fiyat teklifi değerleri

Bara No	$P_G^{\min}$ (MW)	$P_G^{\max}$ (MW)	$Q_G^{\min}$ (MVAR)	$Q_G^{\max}$ (MVAR)	P_G^C (MW)	GENCO’lar tarafından verilen fiyat teklifleri	
						C_k	D_k
1	0	575.88	-140	200	146.39	44	41
2	0	100	-40	50	87.55	43	39
3	0	140	-40	60	41.97	42	38
4	0	100	-30	25	89.67	43	37
5	0	550	-140	200	461.21	42	39
6	0	100	-30	9	100	44	40
7	0	410	-150	155	344.95	44	41

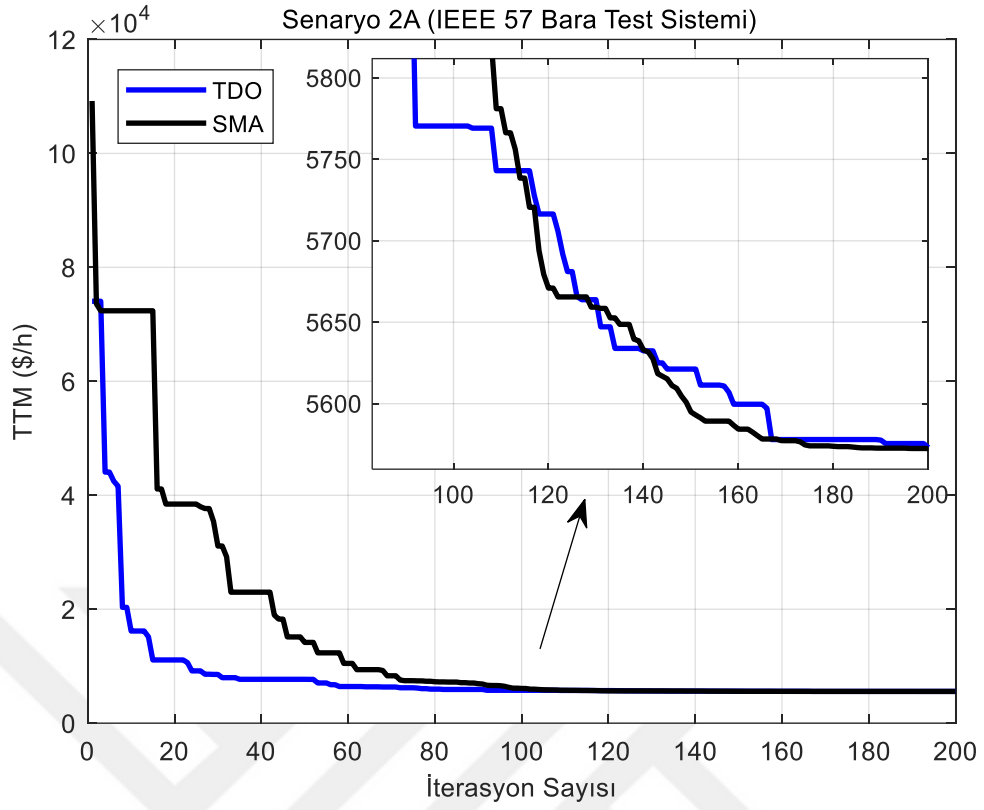
Tablo 4-7: Senaryo 2A için SMA ve TDO algoritmalarından elde edilen sonuçların literatürdeki diğer sonuçlar ile karşılaştırılması

Parametreler	Algoritmalar					
	FFA [6]	PSO [4]	RSM [4]	SA [4]	BA [1]	CBA [1]
TTM _C (\$/h)	6050.1	6951.9	7967.1	7114.3	6268.6	5982.8
PF (Hat 5-6)	174.318	141	148.4	146.60	-	-
PF (Hat 6-12)	34.993	34.67	35	34.84	-	-
ΔP_{G1} (MW)	+5.6351	+23.135	+59.268	+74.499	+6.365	+26.367
ΔP_{G2} (MW)	+2.5230	+12.447	0.0000	0.0000	+0.059	+2.809
ΔP_{G3} (MW)	+0.5098	+7.493	+37.452	-1.515	+68.902	+0.796
ΔP_{G4} (MW)	+0.107	-5.385	-47.391	+9.952	-0.447	+0.102
ΔP_{G5} (MW)	-39.1514	-81.216	-52.125	-85.920	-52.40	-40.552
ΔP_{G6} (MW)	-35.1122	0.0000	0.0000	0.0000	-24.87	-32.596
ΔP_{G7} (MW)	+62.1938	+39.03	0.0000	0.0000	+0.636	+40.327
JTYP (MW)	145.227	168.70	196.23	171.87	153.6	143.554
Parametreler	Algoritmalar					
	FPA [1]	ALO [1]	TLBO [8]	SOS [9]	TDO	SMA
TTM _C (\$/h)	6340.8	5896.548	5981.3	5895	5572.9979	5572.4442
PF (Hat 5-6)	-	173.72	174.914	175	174.8753	174.9233
PF (Hat 6-12)	-	34.56	35	35	34.9994	35.0000
ΔP_{G1} (MW)	+0.876	+34.367	+38.1219	+70.011	+58.7276	+55.1799
ΔP_{G2} (MW)	0.0000	+1.609	+0.7801	+0.0008	+1.5691	+9.2863
ΔP_{G3} (MW)	+9.247	0.0000	+9.0766	+0.0003	+1.4953	+0.0220
ΔP_{G4} (MW)	-1.362	-1.867	-0.0179	0.0000	-0.0491	-0.0008
ΔP_{G5} (MW)	-52.479	-42.254	-43.2018	-44.222	-43.5767	-45.3656
ΔP_{G6} (MW)	-24.548	-31.596	-29.9082	-27.149	-25.3324	-24.2488
ΔP_{G7} (MW)	+64.334	+30.327	+22.8093	+0.0002	+3.2751	+0.1148
JTYP (MW)	152.849	142.02	143.9158	141.385	134.0253	134.2181

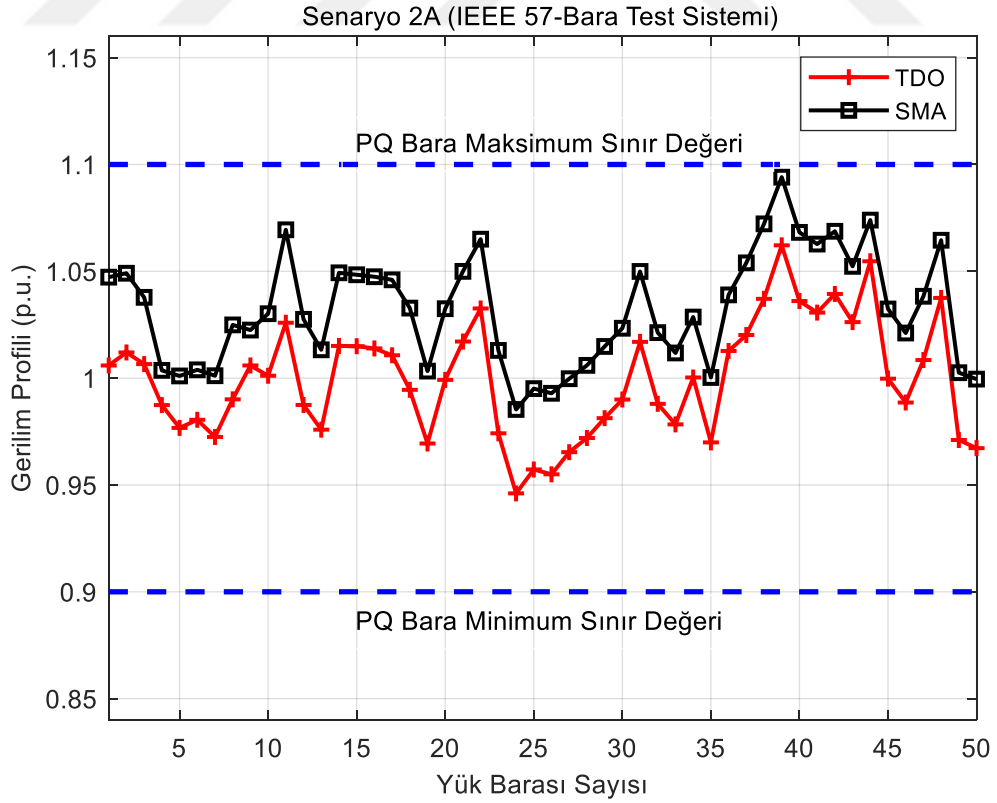
Senaryo 2A benzetim çalışmasında, değiştirilmiş IEEE 57-bara test sisteminde 5-6 ve 6-12 numaralı hatların kapasitesinin sırasıyla 200 MW'tan 175 MW'a ve 50 MW'tan 35 MW'a düşürülmesi düşünülmüştür. Bu senaryo koşulları altında, 5-6 ve 6-12 numaralı iletim hatlarından

akan güç değerleri hattın taşıyabileceği maksimum güç değerinden daha fazla olduğu Tablo 4.5’de görülmektedir. Bu hatlardan akan güç değerleri hattın iletilebilecek maksimum güç değerlerini aştığı için iletim hatlarında tıkanıklık meydana gelmiş olup, jeneratörlerin aktif güç üretimlerinin belirlenen sınır değerleri içerisinde optimal değerde olacak şekilde önerilen optimizasyon algoritmalarıyla yeniden planlanarak iletim hatlarındaki tıkanıklık durumu hafifletilmiştir. Optimizasyon süreci sonunda, SMA ve TDO algoritmalarından elde edilen sonuçlar literatürdeki diğer optimizasyon algoritmalarının sonuçları ile karşılaştırmalı olarak Tablo 4.7’de detaylı bir şekilde verilmiş olup, SMA’nın sonucu optimizasyon algoritmaları içerisinde en iyi sonuca sahiptir. Başka bir ifadeyle, SMA optimizasyon algoritmasından elde edilen kontrol değişkenlerinin yerine konulmasıyla yapılan güç akışı çalışması sonucunda 5-6 ve 6-12 numaralı hatlardan akan güç değerleri Senaryo 2A’ya göre belirlenen maksimum iletilebilecek güç değerleri içerisinde olduğu görülmektedir. Ayrıca, SMA algoritmasının sonucu literatürdeki en iyi iki değere sahip ALO ve SOS algoritmalarından sırasıyla 324.1038 \$/h ve 322.5558 \$/h daha azdır.

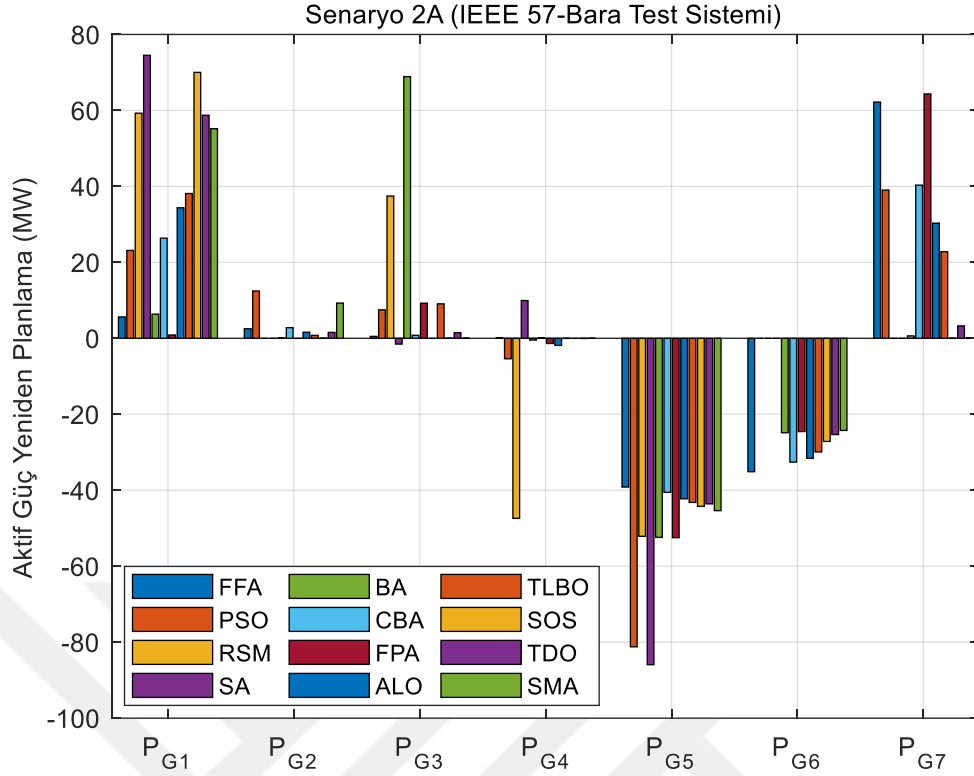
SMA ve TDO algoritmalarından elde edilen TTM değerlerinin değişimini gösteren yakınsama eğrileri Şekil 4.7’de verilmiştir. Şekil 4.8 optimizasyon işlemi sonucunda optimizasyon algoritmalarından elde edilen sonuçlarına göre, yük baralarına ait gerilim değerlerinin belirtilen limit değerleri içinde eşitsizlik kısıtlarını karşıladığı grafikleri gösterir. Literatürdeki optimizasyon algoritmalarından ve SMA ve TDO algoritmalarından elde edilen jeneratörlerin yeniden planlama değerleri Şekil 4.9’da gösterilmektedir.



Şekil 4-7: Senaryo 2A için SMA ve TDO algoritmalarının toplam tıkanıklık maliyeti değerinin değişimi



Şekil 4-8: Senaryo 2A için yük baralarına ait gerilim değerleri



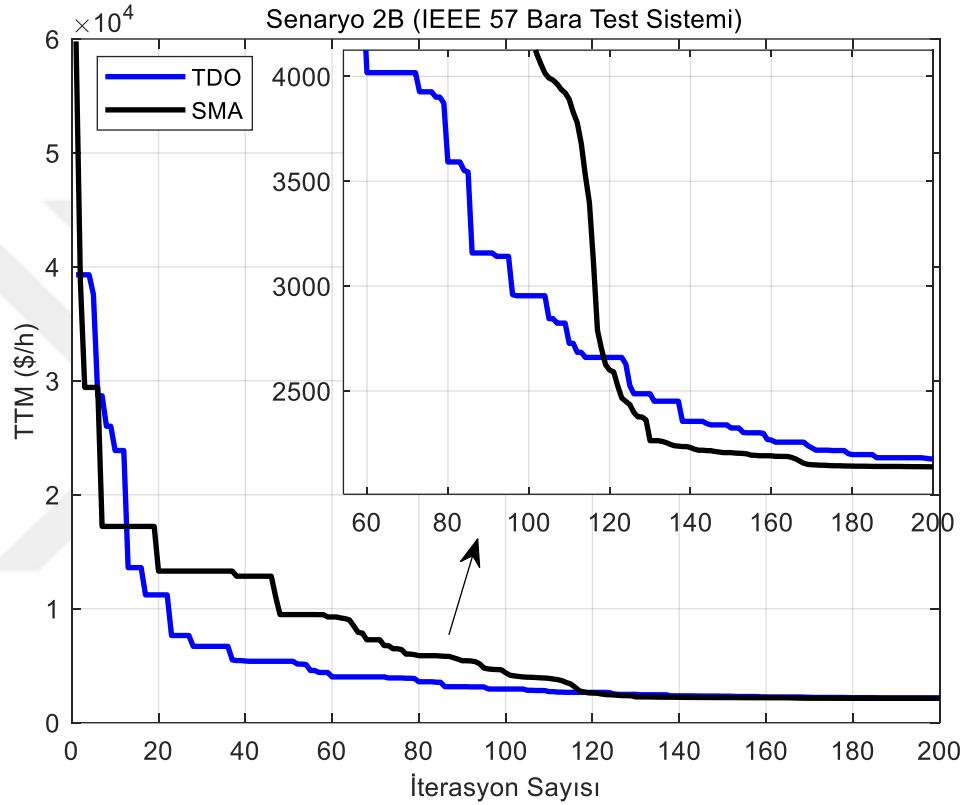
Şekil 4-9: Senaryo 2A için jeneratörlerin aktif güçlerinin yeniden programlama değerleri

Senaryo 2B benzetim çalışmasında, değiştirilmiş IEEE 57-bara test sisteminde hat 2-3'ün kapasitesinin 85 MW'tan 20 MW'a düşürülerek tıkanıklık senaryosu oluşturulmuştur. Hattın maksimum iletebileceği güç değerinin düşürülmesiyle, 2-3 numaralı baralara bağlı hattın güç akışı değeri 37.048 MW olduğu yapılan güç akışı benzetim çalışmasından elde edilmiştir. Bu hat için maksimum güç akışı limiti 20 MW olduğundan bu hatta tıkanıklık problemi ortaya çıkmıştır. Önerilen optimizasyon algoritmalarıyla jeneratörlerin aktif güç değerlerinin yeniden planlanmasıyla hem sistemin TTM değeri minimize edilmiş hem de sistemin tıkanıklık problemi giderilmiştir. Senaryo 2B için önerilen algoritmalarından elde edilen sonuçlar ve literatürdeki diğer algoritmalarından elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmalı olarak Tablo 4.8'de detaylı bir şekilde verilmiştir. Tablo 4.8'de verilen karşılaştırmalı sonuçlara göre, SMA algoritması tarafından elde edilen TTM 2138.2697 \$/h ile en iyi değer olarak, literatürdeki en iyi sonuca sahip ALO ve SOS algoritmaların sonuçlarından sırasıyla %7.7377 ve %7.3178 daha iyidir.

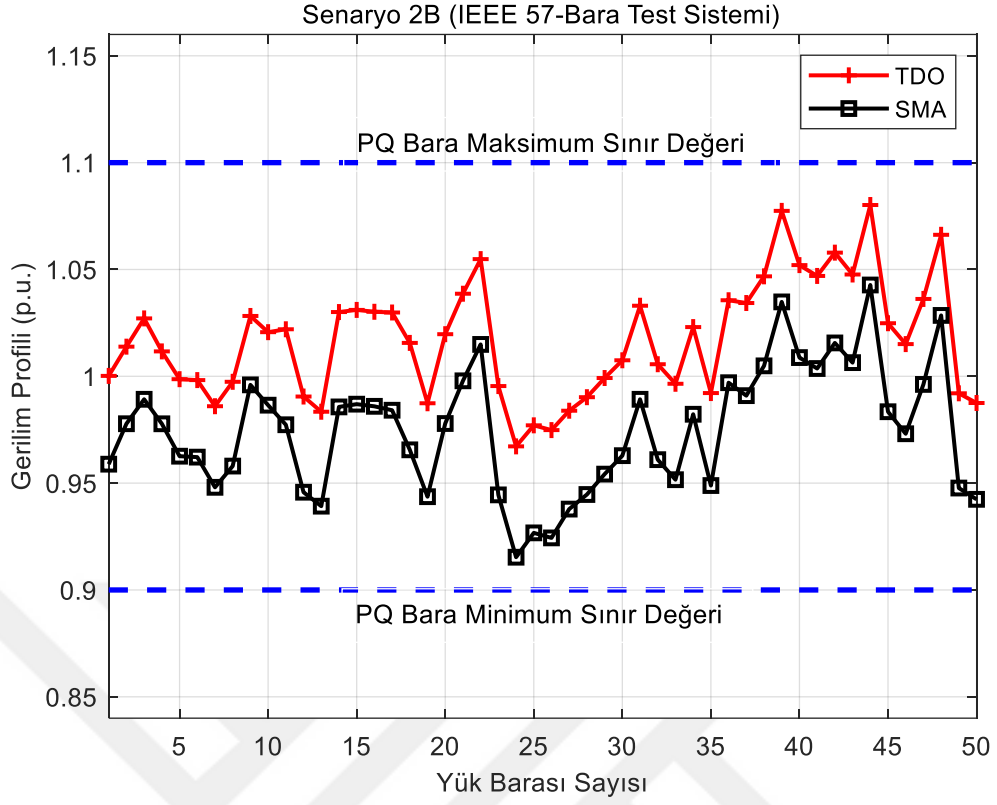
Tablo 4-8: Senaryo 2B için SMA ve TDO algoritmalarından elde edilen sonuçların literatürdeki diğer sonuçlar ile karşılaştırılması

Parametreler	Algoritmalar					
	FFA [6]	PSO [4]	RSM [4]	SA [4]	BA [1]	CBA [1]
TTM _C (\$/h)	2618.1	3117.6	3717.9	4072.9	2361	2332
PF (Hat 2-3)	19.79	19.88	20	18.43	-	-
ΔP_{G1} (MW)	+0.3704	-	-	-	-0.698	-0.395
ΔP_{G2} (MW)	-27.5084	-	-	-	-27.858	-28.072
ΔP_{G3} (MW)	+31.6294	-	-	-	+28.45	+28.646
ΔP_{G4} (MW)	+0.3308	-	-	-	-0.184	+0.0473
ΔP_{G5} (MW)	-2.2549	-	-	-	+0.641	-0.166
ΔP_{G6} (MW)	-1.9354	-	-	-	-0.053	0.0000
ΔP_{G7} (MW)	-0.5101	-	-	-	-0.016	+0.1745
JTYP (MW)	64.5393	76.314	89.320	97.887	57.902	57.502
Parametreler	Algoritmalar					
	FPA [1]	ALO [1]	TLBO [8]	SOS [9]	TDO	SMA
TTM _C (\$/h)	2912.6	2317.6	2916.4	2307.1	2175.5640	2138.2697
PF (Hat 2-3)	-	19.98	20	20	19.9982	19.9994
ΔP_{G1} (MW)	-0.006	-0.1074	-1.0174	0.0000	-0.0371	+0.0002
ΔP_{G2} (MW)	-35.623	-28.2907	-24.6365	-28.35	-28.0008	-26.2626
ΔP_{G3} (MW)	+20.097	+28.593	+36.0991	+28.59	+25.4748	+26.5207
ΔP_{G4} (MW)	+0.028	+0.1338	-6.2282	0.0000	+0.2103	0.0000
ΔP_{G5} (MW)	+1.429	-0.0503	-0.2811	0.0000	+0.0428	+0.0010
ΔP_{G6} (MW)	-0.030	-0.0088	-1.2540	0.0000	0.0000	-0.0006
ΔP_{G7} (MW)	+13.965	-0.0218	-2.5732	0.0000	+0.0279	-0.0020
JTYP (MW)	71.181	57.2590	72.089	56.945	53.7937	52.7871

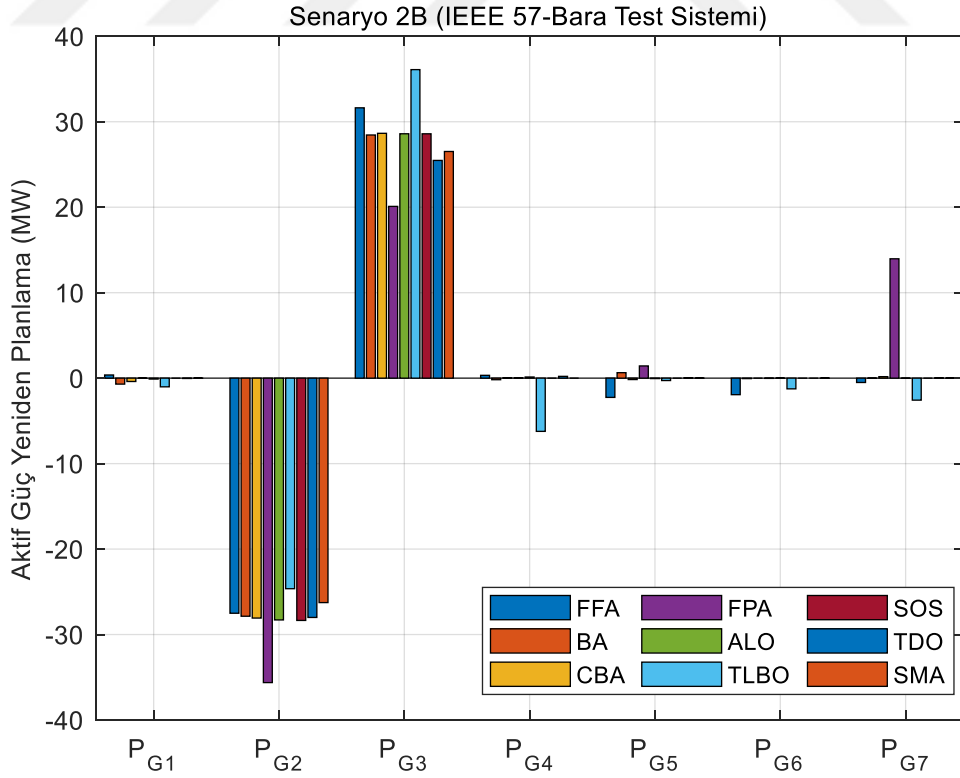
SMA ve TDO algoritmalarının optimal çözüme yakınsama değişimlerini gösteren grafikler Şekil 4.10’da gösterilmektedir. Optimizasyon işlemi sonucunda, değiştirilmiş IEEE 57-bara test sistemine ait yük baralarının gerilim değerleri Şekil 4.11’de gösterilmekte olup, bu değerler belirtilen limit değerleri içerisindeydir. Ayrıca, Şekil 4.12’de literatürde bu problemin çözümünde kullanılan optimizasyon algoritmaları ve SMA ve TDO algoritmalarından elde edilen jeneratörlerin yeniden planlama değerleri karşılaştırmalı olarak verilmektedir.



Şekil 4-10: Senaryo 2B için SMA ve TDO algoritmalarının toplam tıkanıklık maliyeti değerinin değişimi



Şekil 4-11: Senaryo 2B için yük baralarına ait gerilim değerleri



Şekil 4-12: Senaryo 2B için jeneratörlerin aktif güçlerinin yeniden programlama değerleri

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Serbestleştirilmiş elektrik enerjisi piyasasına geçilmesiyle birlikte modern güç sistemlerinin iletim hatlarında tıkanıklık problemi ortaya çıkmakta ve problemin çözümü için farklı tıkanıklık yönetimi stratejileri uygulanmaktadır. Bu stratejilerin en önemlilerinden biri modern güç sistemlerindeki jeneratörlerin yeniden programlanması olarak ifade edilmektedir. Bu tez çalışmasında, modern güç sistemlerinin en önemli planlama ve işletme problemlerinden tıkanıklık yönetimi probleminin çözümü ele alınmıştır.

Tıkanıklık probleminin çözümü, değiştirilmiş IEEE 30-bara ve IEEE 57-bara test sistemlerinde farklı senaryolar altında benzetim çalışmaları yapılarak araştırılmıştır. Bu benzetim çalışmalarındaki senaryolar, tıkanıklık problemi açısından test sistemlerinin çalışma limitlerini maksimum seviyede zorlamaktadır. IEEE 30-bara test sisteminde yapılan Senaryo 1A ve 1B benzetim çalışmalarında, iletim hattının devre dışı kalması ve sistemdeki yüklerin ani değişimleri sonucunda meydana gelen tıkanıklık probleminin çözümü jeneratörlerin ürettikleri aktif güç değerlerinin yeniden programlanmasıyla giderilmeye çalışılmıştır. Tıkanıklık problemi bir optimizasyon problemi olarak düşünüldüğünde, jeneratörlerin yeniden programlanması son zamanlarda literatüre sunulan SMA ve TDO algoritmalarıyla gerçekleştirilmiştir. Bu senaryo koşulları altında SMA ve TDO algoritmalarından elde edilen sonuçlar, literatürdeki diğer optimizasyon algoritmalarından elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmış ve önerilen algoritmaların sonuçları literatürdeki diğer algoritmaların sonuçlarından daha iyi sonuca sahiptir. SMA ve TDO algoritmaların sonuçları kendi aralarında incelendiğinde, SMA algoritması bu senaryo koşulları altında en iyi sonuca sahiptir.

İkinci tıkanıklık senaryo koşulları, belirlenen iletim hatlarında iletilebilecek maksimum güç değerlerinin değiştirilmesiyle birlikte sistemi daha da zorlayabilecek koşullar olarak ele alınmıştır. Bu senaryo koşulları, IEEE 30-bara test sistemine göre daha büyük ve karmaşık bir yapıya sahip olan değiştirilmiş IEEE 57-bara test sisteminde uygulanmıştır. Bu senaryo koşulları altında yapılan benzetim çalışmaları sonucunda, SMA ve TDO algoritmalarından elde edilen optimal kontrol değişkenleri problemde yerine konulduğunda tüm eşitlik ve eşitsizlik sınırlarının karşılandığı görülmektedir. Ayrıca, SMA ve TDO algoritmaları uygunluk fonksiyonu değeri açısından literatürdeki diğer optimizasyon algoritmaların sonuçları ile karşılaştırıldığında en iyi toplam tıkanıklık maliyeti değerine sahip algoritmalarlardır. Başka bir ifadeyle, önerilen algoritmalarından elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, SMA ve TDO algoritmaların literatürdeki sonuçları kayda değer bir şekilde iyileştirildiği görülmektedir.

Sonuç olarak modern güç sistemlerinde hem hattın devre dışı kalması ve yük değerlerindeki ani artış hem de iletim hatlarındaki hat kapasitelerinin düşürülmesi senaryoları bu tez çalışmasında tıkanıklık problemi için ele alınmıştır. Bu senaryolara bağlı olarak yapılan benzetim çalışmalarından elde edilen sonuçlara göre, SMA algoritmasıyla sistemdeki jeneratörlerin ürettikleri aktif güç değerleri yeniden programlanarak hem iletim hatlarında meydana gelen tıkanıklık giderilmiş hem de toplam tıkanık maliyeti en aza indirilmiştir.

SMA algoritması optimal noktayı bulma becerisi açısından farklı bilim alanlarındaki optimizasyon problemlerin çözümünde daha fazla tercih edilebilir. Tıkanıklık probleminin giderilmesi ve en uygun tıkanıklık maliyetini elde edebilmek için modern güç sistemlerinde FACTS cihazlarının kullanılması, FACTS cihazlarının optimal yerleşimi ve literatüre sunulan farklı optimizasyon algoritmaların kullanımı veya hibrit optimizasyon algoritmaların kullanımı daha etkili olacaktır.

6. KAYNAKLAR

- [1] Verma, S., & Mukherjee, V. (2016). Optimal Real Power Rescheduling of Generators for Congestion Management using A Novel Ant Lion Optimiser. *IET Generation, Transmission & Distribution*, 10, 2548–2561.
- [2] Peesapati, R., Yadav, A., Yadav, V. K., & Kumar N. (2019). GSA-FAPSO-based Generators Active Power Rescheduling for Transmission Congestion Management. *IEEE Systems Journal*, 13, 3266–3273.
- [3] Narain, A., Srivastava, S. K., & Singh, S. N. (2020). Congestion Management Approaches in Restructured Power System: Key Issues and Challenges. *The Electricity Journal*, 33, 106715.
- [4] Balaraman, S., & Kamaraj, N. (2011). Transmission Congestion Management using Particle Swarm Optimization. *J. Electrical Systems*, 7, 54–70.
- [5] Pillay, A., Karthikeyan, S. P., & Kothari, D. P. (2015). Congestion Management in Power Systems-A Review. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 70, 83–90.
- [6] Verma, S., & Mukherjee, V. (2016). Firefly Algorithm for Congestion Management in Deregulated Environment. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 19, 1254–1265.
- [7] Balaraman, S., & Kamaraj, N. (2010). Application of Differential Evolution for Congestion Management in Power System. *Modern Applied Science*, 4, 33–42.
- [8] Verma, S., Saha, S., & Mukherjee, V. (2018). Optimal Rescheduling of Real Power Generation for Congestion Management using Teaching-Learning-based Optimization Algorithm. *Journal of Electrical Systems and Information Technology*, 5, 889–907.
- [9] Verma, S., Saha, S., & Mukherjee, V. (2017). A Novel Symbiotic Organisms Search Algorithm for Congestion Management in Deregulated Environment. *Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence*, 29, 59–79.
- [10] Panigrahi, S., & Pandi, V. R. (2009). Congestion Management using Adaptive Bacterial Foraging Algorithm. *Energy Conversion and Management*, 50, 1202–1209.
- [11] Kashyap, M., & Kansal, S. (2018). Hybrid Approach for Congestion Management using Optimal Placement of Distributed Generator. *International Journal of Ambient Energy*, 39, 132–142.

- [12] Singh, K., Padhy, N. P., & Sharma, J. (2011). Congestion Management Considering Hydro–Thermal Combined Operation in a Pool based Electricity Market. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 33, 1513–1519.
- [13] Deb, S., Chatuanramthrnghaka, B., Datta, S., Debbarma, S., Singh, K. S., & Kumar, R. (2021). Congestion Management by Generator Real Power Rescheduling using Hybrid Grey Wolf Optimizer and Cuckoo Search Algorithm. *2021 1st International Conference on Power Electronics and Energy (ICPEE-2021)*.
- [14] Kim, S. C., & Salkuti, S. R. (2019). Optimal Power Flow based Congestion Management using Enhanced Genetic Algorithms. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 9, 875–883.
- [15] Farzana, D. F., & Mahadevan, K. (2020). Performance Comparison using Firefly and PSO Algorithms on Congestion Management of Deregulated Power Market involving Renewable Energy Sources. *Soft Computing*, 24, 1473–1482.
- [16] Deb, S., Datta, S., Debbarma, S., Singh, K. S., & Kumar, R. (2020). Real Power Rescheduling of Generator for Transmission Line Congestion Management using Atom Search Algorithm. *2020 IEEE International Conference for Convergence in Engineering*. 399–404.
- [17] Vijayakumar, K. (2012). Multiobjective Optimization Methods for Congestion Management in Deregulated Power Systems. *Journal of Electrical and Computer Engineering*, 962462.
- [18] Suganthi, S. T., Devaraj, D., Ramar, K., & Thilagar, S. H. (2018). An improved Differential Evolution Algorithm for Congestion Management in the Presence of Wind Turbine Generators. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 635–642.
- [19] Salkuti, S. R., & Kim, S. C. (2019). Congestion Management using Multi-Objective Glowworm Swarm Optimization Algorithm. *Journal of Electrical Engineering & Technology*, 14, 1565–1575.
- [20] Reddy, S. S. (2016). Congestion Management Using Multi-Objective Grenade Explosion Method. *WSEAS Transactions on Power Systems*, 11, 81–89.
- [21] Chintam, J. R., Geetha, V., & Mary, D. (2018). Magnetotactic Bacteria Moment Migration Optimization Algorithm for Generators Real-Power Rescheduling in Deregulated Power System. *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience*, 15, 1461–1470.

- [22] Paul, K., Sinha, P., Mobayen, S., El-Sousy, F. F. M., & Fekih, A. (2022). A Novel Improved Crow Search Algorithm to Alleviate Congestion in Power System Transmission Lines. *Energy Reports*, 8, 11456–11465.
- [23] Venkaiah, C., & Kumar, D. M. V. (2011). Fuzzy PSO Congestion Management using Sensitivity-Based Optimal Active Power Rescheduling of Generators. *Journal of Electrical Engineering & Technology*, 6, 32–41.
- [24] Deb, S., & Goswami, A. K. (2016). Congestion Management by Generator Real Power Rescheduling using Flower Pollination Algorithm. 2016 2nd International Conference on Control, Instrumentation, Energy & Communication (CIEC), 437–441.
- [25] Deb, S., & Goswami, A. K. (2012). Congestion Management by Generator Rescheduling using Artificial Bee Colony Optimization Technique. 2012 Annual IEEE India Conference (INDICON), 909–914.
- [26] Sivakumar, S., & Devaraj, D. (2014). Congestion Management in Deregulated Power system by Rescheduling of Generators using Genetic Algorithm. *International Conference on Power, Signals, Controls and Computation (EPSCICON)*.
- [27] Marzbali, A. G. (2020). Congestion Management in Deregulated Electricity Market with Generator Sensitivity Effects, *Engineering Science & Technology*, 1, 29–38.
- [28] Houndjéga, M., Muriithi, C. M., & Wekesa, C. W. (2018). Active Power Rescheduling for Congestion Management based on Generator Sensitivity Factor using Ant Lion Optimization Algorithm. *International Journal of Engineering Research and Technology*, 11, 1565–1582.
- [29] Li, S., Chen, H., Wang, M., Heidari, A. A., & Mirjalili, S. (2020). Slime Mould Algorithm: A New Method for Stochastic Optimization. *Future Generation Computer Systems*, 111, 300–323.
- [30] Dehghani, M., Hubálovský, S., & Trojovský, P. (2022). Tasmanian Devil Optimization: A New Bio-inspired Optimization Algorithm for Solving Optimization Algorithm. *IEEE Access*, 10, 19599–19620.
- [31] Gharehchopogh, F. S., Ucan, A., Ibrikci, T., Arasteh, B., & Isik, G. (2023). Slime Mould Algorithm: A Comprehensive Survey of Its Variants and Applications. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 30, 2683–2723.
- [32] Chen, H., Li, C., Mafarja, M., Heidari, A. A., Chen, Y. & Cai, Z. (2023). & Slime Mould Algorithm: A Comprehensive Review of Recent Variants and Applications. *International Journal of Systems Science*, 54, 204–235.

- [33] Altay, O. (2022). Chaotic slime mould optimization algorithm for global optimization. *Artificial Intelligence Review*, 55, 3979–4040.
- [34] Wazery, Y. M., saber, E., Houssein, E. H., Ali, A. A., & Amer, E. (2021). An Efficient Slime Mould Algorithm Combined With K-Nearest Neighbor for Medical Classification Tasks. *IEEE Access*, 9, 113666–113682.
- [35] Vidhya, B. R., & Jeritta, S. (2023). Utilizing Variable Auto Encoder-based TDO Optimization Algorithm for Predicting Loneliness from Electrocardiogram Signals. *Soft Computing*, <https://doi.org/10.1007/s00500-023-08571-5>, (Erken Basım Görünümünde).
- [36] Aribowo, W., Rahmadian, R., Widyartono, M., Hermawan, A. C., Wardani, A. L., & Kartini U. T. (2022). Tasmanian Devil Optimization for Economic Load Dispatch. 2022 Fifth International Conference on Vocational Education and Electrical Engineering (ICVEE), 169–173.
- [37] Zimmerman, R. D., Murillo-Sanchez, C. E., & Thomas, R. J. (2011). MATPOWER: Steady-State Operations, Planning, and Analysis Tools for Power Systems Research and Education. *IEEE Transactions on Power Systems*, 26, 12–19.
- [38] MATPOWER, <https://matpower.org/download/> (Erişim tarihi: 22.09.2023)
- [39] IEEE 30-bara test sistemi verileri, <https://labs.ece.uw.edu/pstca/pf30/ieee30cdf.txt> (Erişim tarihi: 22.09.2023)
- [40] IEEE 57-bara test sistemi verileri, <https://labs.ece.uw.edu/pstca/pf57/ieee57cdf.txt> (Erişim tarihi: 22.09.2023)

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler		
Adı Soyadı	Mehmet UĞUR	
Doğum Yeri		
Doğum Tarihi		
Uyruğu		
Telefon		
E-Posta Adresi		
Web Adresi		

	Eğitim Bilgileri
	Lisans
Üniversite	
Fakülte	
Bölümü	
Mezuniyet Yılı	

Yüksek Lisans	
Üniversite	
Enstitü Adı	
Anabilim Dalı	
Programı	

Makale ve Bildiriler