

**T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AKILLI ŞEBEKELERDE KULLANILAN OTO-OPTİMİZASYON
ALGORİTMALARI ve GÜNCEL BİR SİSTEME UYGULANMASI**

DOKTORA TEZİ

Mehmet ÇINAR

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Asım KAYGUSUZ

ARALIK 2020

**T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AKILLI ŞEBEKELERDE KULLANILAN OTO-OPTİMİZASYON
ALGORİTMALARI ve GÜNCEL BİR SİSTEME UYGULANMASI**

DOKTORA TEZİ

**Mehmet ÇINAR
(36111508023)**

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Asım KAYGUSUZ

ARALIK 2020

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ

Tez çalışmam süresince bana çok büyük katkıları olan; bilgisini, zamanını ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen danışmanım Değerli Hocam Prof. Dr. Asım KAYGUSUZ' a,

Tezin gelişimine katkı sağlayan tez komitesi üyeleri Prof. Dr. Müslüm ARKAN ve Dr.Öğretim Üyesi Cemal KELEŞ'e,

Tezin uygulama aşamasında FDK-2020-1983 nolu projemize vermiş oldukları maddi ve manevi destekten dolayı İnönü Üniversitesi BAP birimine,

Tüm hayatım boyunca, her konuda olduğu gibi doktora çalışmalarım boyunca da desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, gösterdiği sabır, ilgi ve manevi desteğiyle her zaman yanımda olan sevgili eşim, hayat arkadaşım Sinem ÇINAR' a

teşekkür ederim.

ONUR SÖZÜ

Doktora Tezi olarak sunduğum “**Akıllı Şebekelerde Kullanılan Oto-Optimizasyon Algoritmaları ve Güncel Bir Sisteme Uygulanması**” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığını ve yararlandığım bütün kaynakların, hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Mehmet ÇINAR



İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ	i
ONUR SÖZÜ	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	vii
ÖZET.....	viii
ABSTRACT.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Tezin Amacı ve Organizasyonu.....	3
2. KAYNAKÇA ÖZETLERİ.....	5
2.1 Akıllı Şebeke Çalışmalarına Genel Bir Bakış	5
2.2 Akıllı Şebekelerde Optimizasyon Kavramı ve Kullanılan Optimizasyon Algoritmaları.....	11
3. OPTİMUM YÜK DAĞILIMI PROBLEMİ	18
3.1 Giriş	18
3.2 Optimum Güç Akışı.....	19
3.2.1 Aktif güç kaybı fonksiyonu	20
3.2.2 Yakıt maliyeti fonksiyonu	20
3.2.3 Gerilim profilinin iyileştirilmesi.....	21
3.2.4 Eşitlik ve eşitsizlik sabitleri.....	21
3.3 Tezde Kullanılan Test Sistemlerin Tanıtılması	22
3.3.1 IEEE 9-baralı test sistemi	22
3.3.2 IEEE 30-baralı test sistemi	24
3.3.3 IEEE 118-baralı test sistemi	25
4. OPTİMİZASYON ALGORİTMALARI.....	26
4.1 Giriş	26
4.2 Yapay Arı Kolonisi Algoritması.....	26
4.2.1 Giriş	26
4.2.2 Başlangıç aşaması.....	27
4.2.3 İşçi arı aşaması.....	28
4.2.4 Gözcü arı aşaması	28
4.2.5 İzci arı aşaması	29
4.2.6 Yapay arı kolonisi algoritması yardımıyla optimum yük alışı	29
4.3 Ateş Böceği Algoritması.....	31
4.3.1 Giriş	31
4.3.2 Popülasyonu başlatma	31
4.3.3 Etkileşimi belirleme.....	32
4.3.4 Konum güncelleme	32
4.3.5 Ateş böceği algoritması yardımıyla optimum yük akışı	35
4.4 Guguk Kuşu Algoritması.....	35
4.4.1 Giriş	35
4.4.2 Levy uçuşu.....	36
4.4.3 Guguk kuşu algoritması uygulama aşamaları.....	36
4.5 Yapay Bağışıklık Sistemleri	39
4.5.1 Giriş.....	39
4.5.2 Bağışıklık sistemi.....	39
4.5.2.1 İnsan bağışıklık sistemi.....	40
4.5.2.2 B hücrelerinin işlevi.....	40

4.5.2.3 Antikorlar.....	41
4.5.3 Yapay bağışıklık.....	42
4.5.4 Klonal Seçim.....	42
4.5.4.1 Klonal seçim prensibi.....	42
4.5.4.2 Klonal seçim algoritması.....	43
4.6 Geliştirilen Algoritma(Yara İyileşme Algoritması).....	45
4.6.1 Yara iyileşme algoritması çözüm aşamaları.....	48
4.6.2 Algoritmanın optimizasyon problemine uygulanması.....	48
5. GELİŞTİRİLEN PROGRAMIN TANITILMASI, OPTİMUM YÜK DAĞILIMI ANALİZİ ve SONUÇLARIN ELDE EDİLMESİ	50
5.1 Geliştirilen Program Hakkında Genel bilgi.....	50
5.2 Menülerin Tanıtılması	50
5.2.1 IEEE test sistemi.....	50
5.2.2 Seçenekler.....	52
5.3 Optimum yük dağılımı analizi.....	56
5.3.1 Yakıt maliyeti fonksiyonu	57
5.3.1.1 IEEE 9-baralı test sistemi.....	57
5.3.1.2 IEEE 30-baralı test sistemi.....	60
5.3.1.3 IEEE 118-baralı test sistemi	64
5.3.2 Güç kayıpları fonksiyonu	70
5.3.2.1 IEEE-30 baralı test sistemi.....	70
5.3.3 Gerilim ayarı.....	75
5.3.3.1 IEEE-118 baralı test sistemi.....	75
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	81
KAYNAKLAR.....	83
EKLER.....	88
ÖZGEÇMİŞ.....	94

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 : Gelişmekte olan ülkelerin enerji ihtiyaçları	7
Çizelge 2.2 : Mevcut şebeke ile akıllı şebekelerin karakteristik özellikler bakımından karşılaştırılması..	8
Çizelge 2.3 : Avrupa ve Dünya’da akıllı şebeke çalışmaları	10
Çizelge 3.1 : IEEE 9-baralı test sistemi hat empedans değerleri.....	22
Çizelge 3.2 : IEEE 9-baralı test sistemi jeneratör bilgileri.....	22
Çizelge 3.3 : IEEE 9-baralı sistemi yükleri.....	22
Çizelge 5.1 : Algoritmalarda kullanılan parametreler ve varsayılan değerler.....	46
Çizelge 5.2 : IEEE 9-baralı test sistemi başlangıç değerleri.	49
Çizelge 5.3 : Bara başlangıç değerleri ve program sonucunda elde edilen değerler..	50
Çizelge 5.4 : IEEE 30-baralı test sistemi başlangıç değerleri.	51
Çizelge 5.5 : IEEE 30-baralı test sisteminde çeşitli algoritmaların yakıt maliyeti..... değerinin karşılaştırılması	53
Çizelge 5.6 : Bara başlangıç değerleri ve yara iyileşme algoritması sonucu elde edilen gerilim değerleri	63
Çizelge 5.7 :Bara başlangıç değerleri ve klonal seçim algoritması sonucu elde edilen gerilim değerleri.....	63
Çizelge 5.8 : IEEE 118-baralı test sistemi başlangıç değerleri.	65
Çizelge 5.9 : Optimum kontrol değişkenleri	67
Çizelge 5.10 :Bara başlangıç değerleri ve yara iyileşme algoritması sonucu elde edilen gerilim değerleri.....	68
Çizelge 5.11 :Bara başlangıç değerleri ve klonal seçim algoritması sonucu elde edilen gerilim değerleri.....	68
Çizelge 5.12 :Yara iyileşme algoritması sonucu elde edilen güç kaybı değerinin diğer algoritmalarla kıyaslanması.....	72
Çizelge 5.13 :Bara başlangıç değerleri ve yara iyileşme algoritması sonucu elde edilen gerilim değerleri.....	73
Çizelge 5.14 :Bara başlangıç değerleri ve klonal seçim algoritması sonucu elde edilen gerilim değerleri.....	74
Çizelge 5.15 :Optimum kontrol değişkenleri.....	77
Çizelge 5.16 :Bara başlangıç değerleri ve yara iyileşme algoritması sonucu elde edilen gerilim değerleri.....	68
Çizelge 5.17 :Bara başlangıç değerleri ve klonal seçim algoritması sonucu elde edilen gerilim değerleri.....	68

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 : Günümüz akıllı şebeke teknoloji katmanları	3
Şekil 2.1 : Geleneksel elektrik güç sistemi	6
Şekil 2.2 : NIST akıllı şebeke kavramsal modeli	9
Şekil 2.3 : En sık kullanılan optimizasyon algoritmaları	13
Şekil 3.1 : IEEE 9-baralı test sistemi	23
Şekil 3.2 : IEEE 30-baralı test sistemi	24
Şekil 3.3 : IEEE 118-baralı test sistemi	25
Şekil 4.1 : Yapay arı kolonisi algoritması	30
Şekil 4.2 : Ateş böceği algoritmasının akış şeması	34
Şekil 4.3 : Levy Uçuşu	36
Şekil 4.4 : Guguk kuşu algoritması akış şeması	38
Şekil 4.5 : Antikor molekülü	41
Şekil 4.6 : Klonal seçim prensibi	43
Şekil 4.7 : Klonal seçim algoritması işlem adımları	44
Şekil 4.8 : Klonal seçim algoritmasının akış şeması	45
Şekil 4.9 : Yara iyileşme algoritması akış şeması	47
Şekil 5.1 : Program ilk çalıştığında elde edilen menü	50
Şekil 5.2 : IEEE test sisteminin seçilmesi	51
Şekil 5.3 : IEEE 30-baralı test sistemi tek hat şeması	52
Şekil 5.4 : Hedeflenen fonksiyon seçimi	53
Şekil 5.5 : Programda kullanılan algoritmalar ve isimleri	53
Şekil 5.6 : Yara iyileşme algoritması parametreleri ve varsayılan değerler	55
Şekil 5.7 : Program çıkış butonu ekran görüntüsü	56
Şekil 5.8 : İterasyon sayısına göre amaç fonksiyon değerinin değişim grafiği	57
Şekil 5.9 : İterasyon sayısına göre amaç fonksiyon değerinin değişim grafiği	58
Şekil 5.10 : Başlangıç gerilim değerleri ile hesaplanan gerilim değerlerinin karşılaştırılması	59
Şekil 5.11 : İterasyon sayısına göre amaç fonksiyon değerinin değişim grafiği	60
Şekil 5.12 : İterasyon sayısına göre amaç fonksiyon değerinin değişim grafiği	61
Şekil 5.13 : Başlangıç gerilim değerleri ile elde edilen gerilim değerlerinin karşılaştırılması	64
Şekil 5.14 : İterasyon sayısına göre amaç fonksiyon değerinin değişim grafiği	65
Şekil 5.15 : İterasyon sayısına göre amaç fonksiyon değerinin değişim grafiği	66
Şekil 5.16 : Başlangıç gerilim değerleri ile elde edilen gerilim değerlerinin karşılaştırılması	70
Şekil 5.17 : İterasyon sayısına göre amaç fonksiyon değerinin değişim grafiği	71
Şekil 5.18 : İterasyon sayısına göre amaç fonksiyon değerinin değişim grafiği	71
Şekil 5.19 : Başlangıç gerilim değerleri ile elde edilen gerilim değerlerinin karşılaştırılması	74
Şekil 5.20 : İterasyon sayısına göre amaç fonksiyon değerinin değişim grafiği	75
Şekil 5.21 : İterasyon sayısına göre amaç fonksiyon değerinin değişim grafiği	76
Şekil 5.22 : Başlangıç gerilim değerleri ile elde edilen gerilim değerlerinin karşılaştırılması	80

SEMBOLLER VE KISALTMALAR

EPRI	: Elektrik Gücü Araştırma Enstitüsü
NIST	: Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü
IEEE	: Institute of Electrical and Electronics Engineers
IEEE 9	: 9 baralı test sistemi
IEEE 30	: 30 baralı test sistemi
IEEE 118	: 118 baralı test sistemi
S	: Arama uzayı
d	: Boyut
F_{maliyet}	: Yakıt maliyeti fonksiyonu
VD	: Gerilim ayarı
P_{kayıp}	:Güç kaybı fonksiyonu
ABC	: Artificial Bee Colony
PPSO	: Parallel Particle Swarm Optimization
MOMICA	: Multi-Objective Modified Imperialist Competitive Algorithm
MSA	: Moth Swarm Algorithm
OGSA	: Opposition-based Gravitational Search Algorithm
DE	: Differential evolution
GSA	: Gravitational Search Algorithm
BBO	: Biogeography-Based Optimization
PSO	: Particle Swarm Optimization
WHA	:Wound Healing Algorithm
CSA	:Clonal Selection Algorithm
GA	:Genetic Algorithm
p.u	: per unit

ÖZET

Doktora Tezi

AKILLI ŞEBEKELERDE KULLANILAN OTO-OPTİMİZASYON ALGORİTMALARI ve GÜNCEL BİR SİSTEME UYGULAMASI

MEHMET ÇINAR

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

95 + IX sayfa

2020

Danışman: Prof. Dr. Asım KAYGUSUZ

Günümüzdeki güç sistemleri, 1880’li yıllarda geliştirilen Tesla’nın tasarım prensiplerine göre kurulmuş ve zaman içerisinde gelişerek şimdiki halini almıştır. İletişim teknolojisinin çok hızlı gelişmesine karşın, güç sistemlerinin gelişimi buna ayak uyduramamıştır. Günümüz teknolojisinin hızla gelişmesiyle birlikte elektrik şebekelerinde bilgisayar ve ağ teknolojilerinden yararlanılarak elektrik şebekesini daha iyi hale getirmek mümkün hale gelmiştir. Böylece elektrik şebekeleri çift yönlü bilgi ve elektrik akışına imkân sağlayarak tüketicilere sürdürülebilir, güvenli ve kesintisiz bir enerji sağlayabilecektir. Bunu yapabilen şebekelere akıllı şebekeler denilmektedir. Akıllı şebekeler, merkezi olmayan enerji sistemleri, büyük ölçekli yenilenebilir enerji kullanımı, talep tarafı yönetimindeki önemli iyileştirmeler ve sürdürülebilir enerji de dahil olmak üzere entegre sistemleri mümkün kıldığı için enerji yönetim sistemlerindeki en önemli gelişmelerdendir.

Akıllı şebekelerin gelişimiyle birlikte; arızalara hızlı yanıt, şebekede dağıtık enerji kaynaklarının ve elektrikli araçların varlığı ve müşterilerin şebekeye katılımının sağlanabilmesi gibi karakteristik özellikler sebebiyle optimal yük dağılımı problemi daha karmaşık bir duruma gelmiştir. Yük dağılım problemini çözmek için çeşitli matematiksel ve optimizasyon yöntemleri geliştirilmiştir. Optimizasyon; matematiksel olarak bir fonksiyonun minimize ya da maksimize edilmesi olarak tanımlanır. Öncelikle bu tez çalışmasında akıllı şebekelerde optimum yük dağılımını elde edebilmek için klonal seçim ilkesi tabanlı yara iyileşme algoritması geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritma ve klonal seçim, yapay arı, ateş böceği ve guguk kuşu algoritmalarını kullanan Matlab GUI ortamında paket program geliştirilmiş ve programa oyamatlab ismi verilmiştir. Algoritmalar optimum yakıt maliyeti, optimum güç kaybı ve gerilim profilini iyileştirme fonksiyonlarına uygulanmıştır. Önerilen yöntem ve diğer algoritmalar literatürde sıklıkla kullanılan IEEE 9, IEEE 30 ve IEEE 118-baralı test sistemlerine uygulanmış ve elde edilen sonuçlar diğer meta-sezgisel algoritmalarla kıyaslanmıştır. Önerilen algoritmanın diğer algoritmalara göre daha optimum sonuçlar verdiği tespit edilmiş ve literatürdeki yara iyileşme algoritması boşluğunu giderebileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Akıllı şebekeler, optimum yük dağılımı, optimizasyon algoritmaları, klonal seçim algoritması, yara iyileşme algoritması

ABSTRACT

Ph.D. Thesis

AUTO-OPTIMIZATION ALGORITHMS USED IN SMART GRIDS AND APPLICATION TO AN ACTUAL SYSTEM

MEHMET ÇINAR

Inonu University
Graduate School of Nature and Applied Sciences
Department of Electrical&Electronics Engineering

95 + IX pages

2020

Supervisor: Prof. Dr. Asım KAYGUSUZ

Today's power systems were established according to the design principles of Tesla, developed in the 1880s, and developed over time and took their current form. Despite the rapid development of communication technology, the development of power systems has not kept up. With the rapid development of today's technology, it has become possible to make the electricity network better by using a computer and network technologies in electricity networks. Thus, electricity grids will be able to provide sustainable, safe, and uninterrupted energy to consumers by allowing a two-way flow of information and electricity. Networks that can do this are called smart grids. Smart grids are one of the most important developments in energy management systems, as they enable integrated systems, including decentralized energy systems, large-scale renewable energy use, significant improvements in demand-side management, and sustainable energy.

With the development of smart grids; The optimal load distribution problem has become more complex due to characteristics such as rapid response to malfunctions, the presence of distributed energy sources and electric vehicles in the network, and the ability to enable customers to participate in the network. Various mathematical and optimization methods have been developed to solve the load distribution problem. Optimization; mathematically it is defined as minimizing or maximizing a function. First of all, in this thesis, a wound healing algorithm based on the clonal selection principle has been developed in order to obtain optimum load distribution in smart grids. A package program was developed in Matlab GUI environment using the developed algorithm and clonal selection, artificial bee, firefly, and cuckoo algorithms, and the program was named oyamatlab. Algorithms have been applied to optimum fuel cost, optimum power loss, and voltage adjustment functions. The proposed method and other algorithms were applied to IEEE 9, IEEE 30, and IEEE 118-bus test systems, which are frequently used in the literature, and the results obtained were compared with other meta-heuristic algorithms. It has been determined that the proposed algorithm gives more optimum results than other algorithms and has shown that it can eliminate the wound healing algorithm gap in the literature.

Key Words: Smart grids, optimum load flow, optimization algorithms, clonal selection algorithm, wound healing algorithm

1. GİRİŞ

Günümüzdeki güç sistemleri, 1880’li yıllarda geliştirilen Tesla’nın tasarım prensiplerine göre kurulmuş ve zaman içerisinde gelişerek şimdiki halini almıştır. İletişim teknolojisinin çok hızlı gelişmesine karşın, güç sistemlerinin gelişimi buna ayak uyduramamıştır [1]. Elektrik enerjisinin üretildiği yerden tüketicilere ulaşabilmesi için üretim, iletim ve dağıtım aşamalarında herhangi bir sorunla karşılaşmaması gerekir. Genellikle elektrik enerjisinin üretimi büyük güçlü santrallerde yapılmaktadır. Santrallerde üretilen elektriğin iletim hatları yardımıyla uzak mesafelere iletebilmesi için yüksek gerilime çevrilmesi gerekmektedir. Buna iletim denilmektedir. Yüksek gerilimle iletilen elektriğin tüketiciler tarafından kullanılabilmesi için düşük gerilimlere dönüştürülmesi gerekir. Buna da dağıtım denilmektedir.

Günlük hayatın artık vazgeçilmez unsurlarından biri olan elektrik enerjisi şöyle tanımlanabilir: Elektrik enerjisi; insan yaşamının kalitesini artıran, hayatını kolaylaştıran, sanayi üretimi için temel ihtiyaçlardan olan, ülkelerin kalkınmışlık düzeyini belirleyen en önemli unsurlardan birisidir. Dünya nüfusunda son yıllardaki belirgin artış, gelişen teknoloji ile birlikte günlük yaşantıda elektrik enerjisine olan bağımlılığın artması, sanayide ve teknolojiye bağlı olarak enerji talebinin artması, fosil yakıtların giderek azalması ülkeleri, elektrik enerjisini verimli ve daha az kayıpla kullanmaya doğru götürmektedir. Bunu başarmak için; bilişim ve kontrol teknolojilerinden faydalanılarak elektrik enerjisinin üretim, iletim ve dağıtım aşamalarında elektrik güç sisteminin akıllı hale getirilmesi gerekmektedir. Böylece sistem daha verimli, güvenli, yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanabilen ve yönetilebilir bir yapıya dönüşecektir. Bu yapı “*akıllı şebekeler*” ismiyle karşımıza çıkmaktadır. Günümüzde geleneksel elektrik şebekesi artan enerji talebi ve gelişen yüksek teknolojiye ayak uyduramaz duruma geldiği için artık elektrik şebekelerinin akıllı hale dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu bağlamda geleneksel elektrik şebekesinin bilgi ve haberleşme teknolojileri, kontrol ve güç elektroniği elemanları ile bir araya getirilip verimi yüksek, kayıpları daha az hale dönüştürülmesi akıllı şebeke çalışmalarının temelini oluşturmaktadır [2].

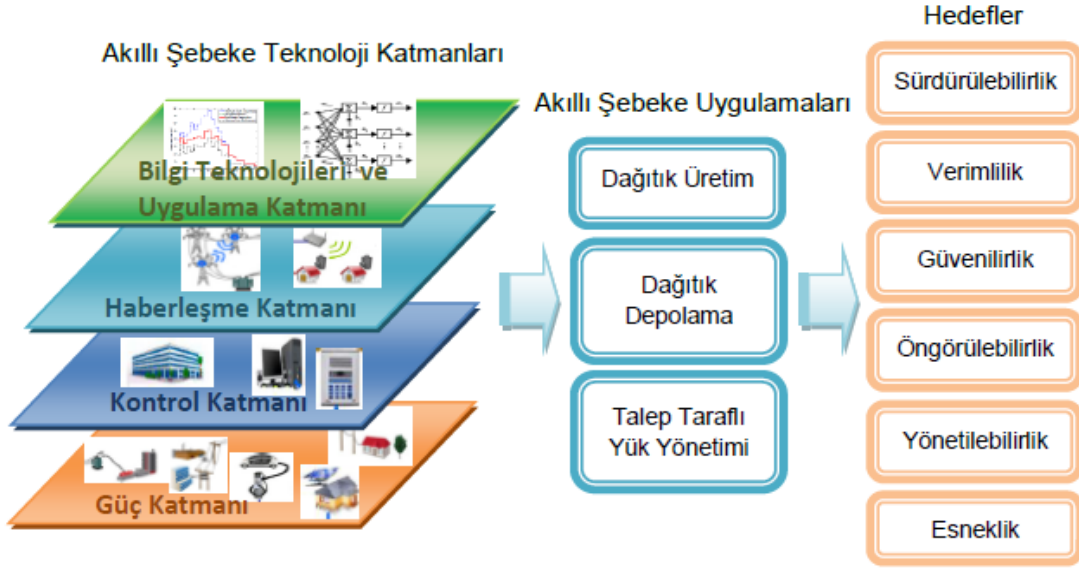
Enerji fiyatlarının hızla yükselmesi, iklim değişikliği, dünya genelinde insanların yaşam standartlarının artması, sanayi ve teknolojiye hızlı gelişmelere paralel olarak

enerji talebinin artması elektrik enerjisinin önemini ön plana çıkarmaktadır. Ülkemizin sosyal ve ekonomik anlamda gelişmişlik düzeyini arttırabilmek için elektrik enerjisinin kesintisiz, sürdürülebilir ve ucuz olması büyük önem taşımaktadır. Elektrik enerjisine olan taleplerin giderilebilmesi için gelişmiş teknolojiye, kalifiye elemana ve elektrik şebekelerinin modernizasyonuna ihtiyaç vardır. Ülkemizdeki kayıp kaçak oranının yaklaşık %11,8 olduğu göz önüne alınırsa [3], elektrik enerjisinin üretiminden tüketimine kadar her aşamada sistemin akıllı şebeke haline dönüştürülmesi kayıp kaçak oranını ciddi anlamda düşürecek ve ülkemize milyarlarca TL'lik bir kazanç sağlayacaktır. Akıllı şebeke kavramıyla birlikte elektrik hatları üzerinden çift yönlü iletişim sağlanarak olası bir arıza halinde sisteme otomatik olarak müdahale edilebilecek, elektrik şebekesi sürekli olarak izlenebilecek, gerektiğinde yenilenebilir enerji kaynakları şebekeye entegre edilerek elektrik enerjisinin sürekli tedarik edilmesi sağlanacaktır [4].

Literatür taraması incelendiğinde akıllı şebeke kavramı ile ilgili birçok tanım vardır. ABD Enerji Bakanlığı akıllı şebekeyi “akıllı, verimli, uyarlanabilir, motive edici, fırsatçı, kalite odaklı, esnek bir şebeke” olarak tarif etmektedir [5]. Literatürde akıllı şebekeler ile ilgili çalışmalar incelendiğinde günümüzde kullanılan elektrik şebekelerindeki mevcut olan bütün problemlerin çözümüne yönelik çalışmalar olduğu görülmektedir [6].

Geçmişten günümüze kadar yavaş bir gelişim süreci gösteren elektrik endüstrisi, özellikle akıllı şebekeler konusunda yapılan çalışmalar ile birlikte hızlı bir gelişim sürecine girmiştir. Günümüzde yapılan akıllı şebeke çalışmaları paydaşların bakış açısına göre farklılıklar göstermektedir. Akademik açıdan akıllı şebekeler yenilenebilir enerji kaynaklarının şebekeye entegrasyonunun yapılabilirdiği, tüketicilerin sisteme dâhil edilebildiği, bilgi ve iletişim teknolojileri yardımıyla çevrimiçi enerji akışının kontrol edilebildiği yapı olarak düşünülmektedir. Politik açıdan bakıldığında konu, sürdürülebilir, verimli, fiyat istikrarı sağlanabilen bir güç sistemi olarak ele alınırken; ticari anlamda da akıllı evler ve şehirler, akıllı sayaçlar gibi endüstriyel girişimler olarak ele alınmaktadır. Bu bağlamda akıllı şebekeler konusu toplumun her kesimini ilgilendiren bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır.

Güncel sistemlerin üzerine teknoloji katmanlarının eklenmesiyle akıllı şebeke alt yapısının geliştirilmesi düşünülmektedir. Şekil 1.1’de günümüz akıllı şebeke teknoloji katmanları görülmektedir.



Şekil 1.1: Günümüz akıllı şebeke teknoloji katmanları [7].

Teknoloji katmanları ile akıllı şebekenin ekonomik, sürdürülebilir, optimize edilmiş ve güvenilir olması planlanmaktadır [8]. Böylece elektrik enerji sistemlerinin gelişen teknolojiye ayak uydurması; yani dijital çağını yaşaması sağlanabilecektir. Artık üretilen elektrik enerjisine tüketicilerin müdahale etme imkânı olacak; ürettiği elektrik enerjisinin fazlalığını şebekeye verebilecek duruma gelecektir. Bunun sonucunda klasik elektrik şebekesindeki üretim, iletim ve dağıtım kavramlarına yeni kavramlar eklenerek tekrar yorumlamak gerekecektir. Eklenen yeni kavramlar sonucunda ortaya çıkabilecek sorunlara çözümler aranmalı ve akıllı şebekelerin gelişimi sağlanmalıdır [9].

1.1 Tezin Amacı ve Organizasyonu

Tez çalışmasının amacı; akıllı şebekelerde optimum yük dağılımı problemlerinin çözümü için klonal seçim ilkesini kullanan yara iyileşme algoritması geliştirmek ve geliştirilen bu algoritmanın sonuçlarını diğer bazı meta sezgisel algoritmalar ile kıyaslamaktır. Kıyaslama işleminin yapılabilmesi için Matlab GUI ortamında paket program geliştirilmiş ve geliştirilen program yardımıyla akıllı şebekede optimum yük dağılımı elde edilmiştir. Akıllı şebekelerde optimum yük dağılımı problemi temelde 3 kısma ayrılır:

- Optimum güç kaybı
- Optimum yakıt maliyeti
- Gerilim profilinin iyileştirilmesi

Yukarıda belirtilen 3 optimum yük dağılımı problemi için geliştirilen paket program IEEE 9, IEEE 30 ve IEEE 118-baralı test sistemlerine uygulanmış ve elde edilen sonuçlar literatürdeki diğer algoritmalar ile kıyaslanmıştır.

Tezin organizasyonu aşağıdaki gibidir:

Birinci bölüm giriş, tezin amacı ve tezin organizasyonu kısımlarından oluşmaktadır.

İkinci bölümde akıllı şebeke çalışmalarına genel bir bakış verildikten sonra akıllı şebekelerde optimizasyon kavramı ve kullanılan optimizasyon algoritmaları ile ilgili literatür taraması verilmiştir.

Üçüncü bölümde optimum yük dağılımı problemi hakkında giriş yapıldıktan sonra, yakıt maliyeti fonksiyonu, aktif güç kaybı fonksiyonu ve gerilim profilini iyileştirme detaylı olarak açıklanmıştır. Kullanılan denklemler verilerek tezde kullanılan IEEE 9, IEEE 30 ve IEEE 118-baralı test sistemleri tanıtılmıştır.

Dördüncü bölümde akıllı şebekelerde kullanılan optimizasyon algoritmaları hakkında genel bilgiler verildikten sonra tezde geliştirilen paket programın kullandığı yapay arı kolonisi, ateş böceği, guguk kuşu, klonal seçim ve yara iyileşme algoritması detaylı olarak açıklanmıştır.

Beşinci bölümde tezde geliştirilen program detaylı olarak tanıtıldıktan sonra optimum yük dağılımı analizi sonuçları elde edilmiş ve elde edilen sonuçlar diğer meta-sezgisel algoritma sonuçları ile karşılaştırılarak yorumlanmıştır.

Altıncı bölümde tezde elde edilen sonuçlar tartışılarak bundan sonraki çalışmalar için öneriler verilmiştir.

2. KAYNAKÇA ÖZETLERİ

2.1 Akıllı Şebeke Çalışmalarına Genel Bir Bakış

Elektrik şebekeleri ilk başlarda tasarlanma aşamasında sadece bölgeleri birbirine bağlamak için düşünülüyordu. Zamanla elektrik enerjisi kullanan tüketici sayısı arttıkça elektriksel sistemdeki ekipmanların birbirleriyle nasıl uyumlu halde çalışabileceği tartışılmaya başlandı. 1970’li yıllara kadar uyum sorunu tartışılırken bilgisayar ve teknolojik imkânlar günümüzdeki kadar yaygın değildi. Bilgi ve haberleşme teknolojileri hızla gelişirken elektrik şebekeleri bu teknolojik gelişmelere ayak uyduramaz duruma gelmiştir. Çoğu ülkelerde kullanılan elektrik şebekeleri halen daha ilk kurulduğu gibi işletilmeye devam etmektedir. Elektrik şebekelerinin temel görevi; elektrik enerjisini tüketicilere taşımaktır. Elektrik hatlarındaki kayıpların çoğu, hatların direnç değerlerinden kaynaklanan ısı/enerji kayıplarıdır. Ekonomik açıdan olaya bakıldığında en etkili çözüm gerilim seviyesini yükseltmektir. Genellikle elektrik enerjisi farklı gerilim seviyelerine sahip 3 alt bölümden oluşur:

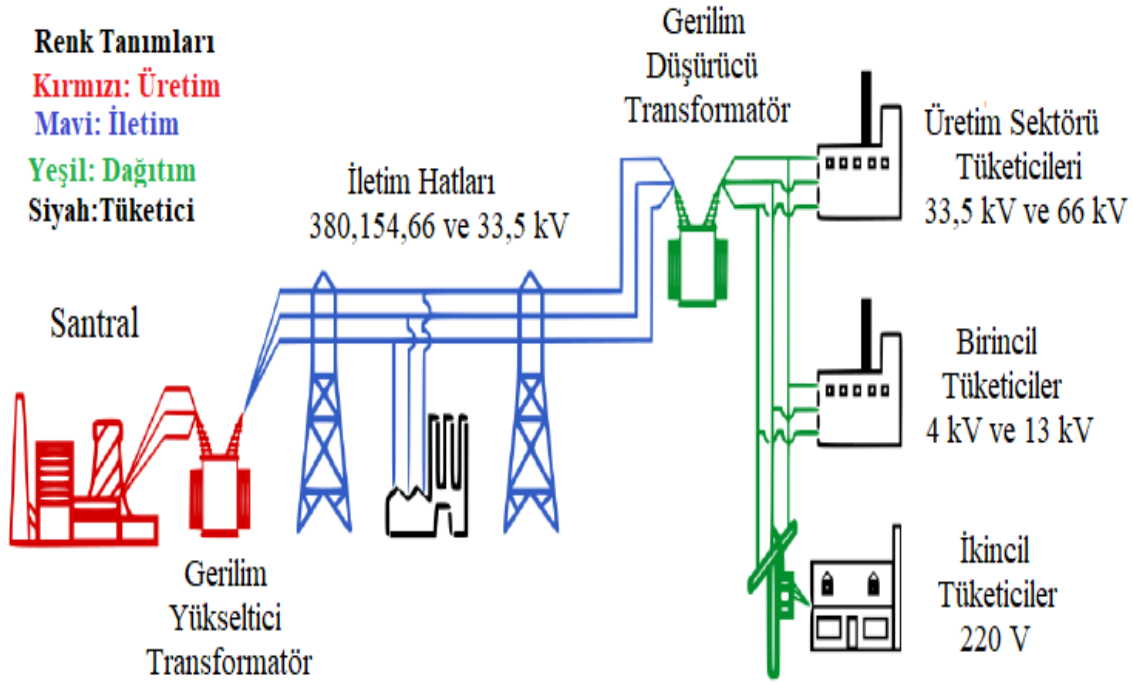
a) Üretim: Elektrik enerjisinin üretimi birbirine dönüştürülebilir enerjilerin elektrik enerjisine dönüştürülmesiyle elde edilir. Tüm dönüştürülebilir enerjiler iki başlık altında toplanır: Kömür, akaryakıt, fosil yakıtlar ve nükleer enerji gibi yenilenemeyen kaynaklar ve diğeri güneş, rüzgâr, biokütle ve dalga enerjisi gibi yenilenebilir kaynaklardır.

b) İletim ve Dağıtım: İletim ve dağıtım hatları elektrik enerjisini üretildiği noktadan tüketicilere yüksek ve orta gerilimde iletmek için kullanılır. İletilen elektrik enerjisindeki kayıpları minimum tutmak için 3 fazlı olarak iletim ve dağıtım işlemi yapılır.

c) Tüketim: Elektrik enerjisi genel olarak 4 farklı sektörde tüketilir [10]:

- **Konut sektörü:** Tek aileli ve çok aileli konutları içerir.
- **Ticari sektör:** Devlet tesisleri, hizmet sağlayan tesis ve ekipmanlar ile diğer kamu ve özel kuruluşları içerir.
- **Sanayi sektörü:** İmalat, madencilik, tarım ve inşaat sektörlerini içerir.
- **Ulaştırma sektörü:** Enerjisinin çoğunu, benzin, dizel ve jet yakıtı gibi doğrudan fosil yakıtları yakarak tüketir. Bununla birlikte, bazı araçlar elektrik şebekesinden elektrik kullanır. Bu araçlar arasında, bataryayla çalışan elektrikli arabalar ve bataryalarını şarj ettiklerinde şebekeden güç alan takılabilir hibrid elektrikli arabalar, elektrikli kamyonetler, kamyonlar, otobüsler ve elektrik şebekesine

sürekli bağlı olan metro, elektrikli ray ve tramvay sistemleri vardır. Şekil 2.1’de geleneksel elektrik şebeke yapısı görülmektedir.



Şekil 2.1: Geleneksel elektrik güç sistemi.

Fosil kaynakların tükenmesi ve sera gazı emisyonlarına karşı mücadele, tüketimin kontrolüne ve enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesine aciliyet kazandırmaktadır. Bu nedenle, günümüzde yenilenebilir enerji bu bağlamda göz önünde bulundurulması gereken önemli bir kaynak olmaya devam etmektedir. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde güç talebi hızlı bir şekilde artmaktadır. 2030 yılına kadar ABD ve Avrupa'da sırasıyla %50 ve %40 oranında enerji tüketiminde artış beklenmektedir. Çin ve Hindistan'da elektrik enerjisi talebinin üç katına çıkması ve küresel anlamda da yaklaşık iki katına çıkması beklenmektedir [11]. Çizelge 2.1’de gelişmekte olan ülkelerin elektrik enerjisine olan ihtiyaçları görülmektedir [12].

Çizelge 2.1: Gelişmekte olan ülkelerin enerji ihtiyaçları.

Bölge	2018 yılı elektrik enerjisi ihtiyacı (TWh)	2050 yılı elektrik enerjisi ihtiyacı (TWh)	2018-2050 yüzdeler olarak artış
Dünya	26600	36948	39
Çin	7111	9500	33
Hindistan	1561	3453	121
Afrika	853	1691	98
Ortadoğu	1240	2537	104
Latin Amerika	1305	2062	58
Geçiş içerisinde olan ekonomiler	1417	2348	65
Diğer gelişen devletler (Asya)	890	2822	217

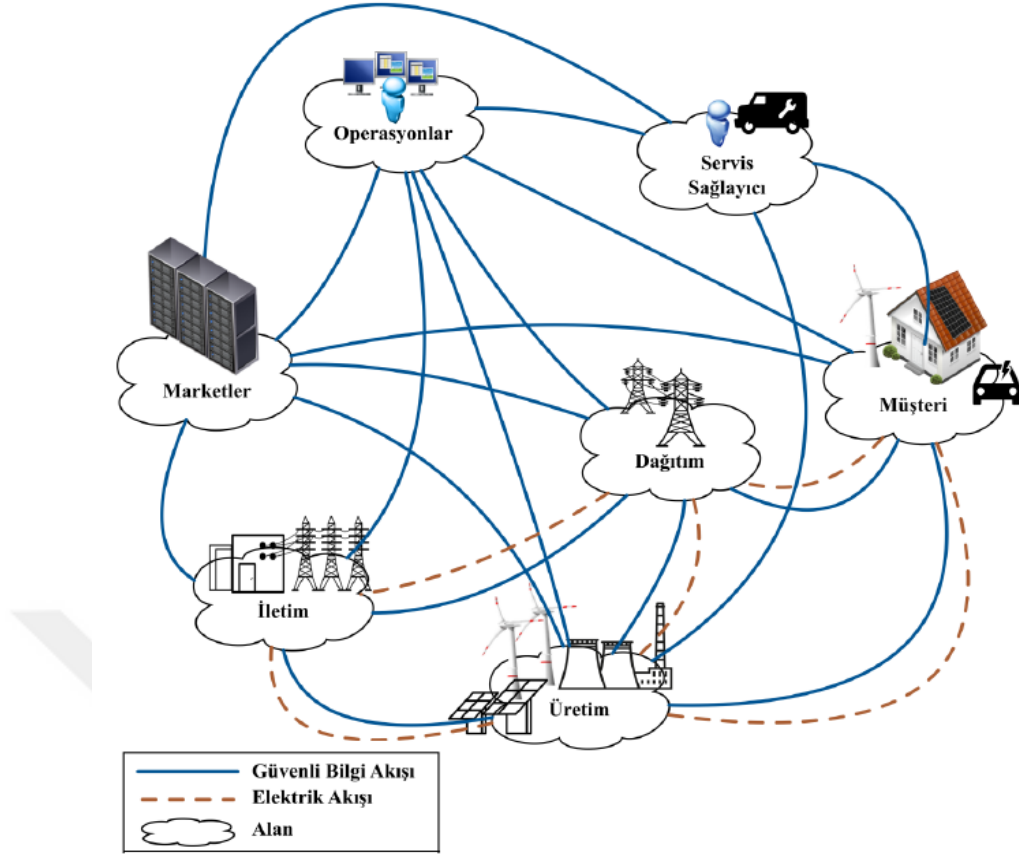
Elektrik enerjisindeki bu hızlı artış dikkate alınmalı ve hizmet kalitesi korunmalıdır. Ek olarak, sürekli artan enerji talebiyle karşı karşıya kalındığından mevcut yakıt kaynaklarının hızla tükenmeye başladığı açıkça görülmektedir [13]. Tüm enerji sektörünü etkileyen bu olumsuzluklar yanında elektrik sektörü de mevcut yapısıyla artık kendini yenilemesi gerekmektedir. Özellikle elektrik şebeke altyapılarının yenilenmesi, mevcut yenilenebilir enerji kaynaklarının artan talebi karşılayabilmesi için elektrik şebeke sistemine entegre edilmesi, elektrik şebekelerinde bilgi ve haberleşme teknolojilerinin kullanılma zorunluluğu, artan elektrik talebine cevap verebilme gibi sorunlar elektrik şebekesinin akıllı hale getirilmesiyle çözülecektir. Bu da şebekenin akıllı şebeke haline dönüştürülmesiyle mümkün olacaktır. 2006 yılında Avrupa Teknoloji Platformu tarafından kurulan akıllı şebekeler programı 2020 ve ötesi Avrupa elektrik şebekesinin vizyonunu ortaya koymaktadır [14].

Akıllı şebekeler ile ilgili literatürde çeşitli tarifler bulunmaktadır. En genel haliyle Elektrik Gücü Araştırma Enstitüsü (EPRI) tanımına göre **akıllı şebekeler**; elektrik şebekesinin izlenebilir, güvenilir, kontrol edilebilir ve ekonomik olmasını sağlayan geniş bir teknoloji yelpazesine sahip bir yapı olarak düşünülebilir [15]. Bu tanımlamaya göre akıllı şebekeler, yenilenebilir enerji kaynaklarının şebekeye entegrasyonu, talep tarafı yönetimi, elektrik enerjisinin uzaktan kontrol edilmesi ve izlenebilmesi, şebekede fazla enerji bulunduğunda depolanabilmesi gibi faaliyetleri gerçekleştirebilmekte ve sorunsuz bir şekilde şebekeyi yönetebilmektedir. Akıllı şebekeler ile mevcut elektrik şebekelerinin özellikleri arasında kıyaslama Çizelge 2.2’de verilmiştir [16].

Çizelge 2.2: Mevcut şebeke ile akıllı şebekelerin karakteristik özellikler bakımından karşılaştırılması.

Karakteristik özellik	Mevcut şebeke	Akıllı şebeke
Tüketicilerin sisteme aktif katılımının sağlanması	Tüketiciler enerji sistemine katılamazlar.	Tüketiciler enerji sistemine dâhil edilebilir.
Üretim ve depolama süreçleri	Merkezi üretim mevcuttur. Dağıtık enerji kaynaklarının mevcudiyeti için birçok engel vardır.	Dağıtık enerji kaynakları sisteme dâhil edilebilmektedir.
Yeni ürünler, servisler ve marketlerin oluşturulması	Sınırlı sayıda toptan satışlar vardır ve tüketicilerin seçme şansı çok azdır.	Tüketiciler için eski ve yeni toptan satıcılar mevcuttur.
Ekonomik aktiviteleri desteklemek için teknik kalitenin karşılanması	Güç kalite problemleri odaklı hata ve arızalara yavaş cevap verme	Güç kalitesi ve süreklilik birinci önemli konu, problemlere hızlı çözüm, fiyat çeşitliliği sağlama
İşlemlerin verimliliği ve varlıkların optimizasyonu	Varlık yönetiminde ve iş akışında sınırlı etkileşim	Geniş veri analizi, yaşam döngüsünü analiz edebilme ve ekipmanların tam kapasiteyle kullanımı
Kendi kendini iyileştirme	Olası bir arızadan tüm sistemin etkilenmesi ve onarım süresinin uzun olması	Arızanın hızlı bir şekilde denetlenmesi ve diğer kısımlara sıçramasının önlenmesi, tüketicinin minimum etkilenmesinin sağlanması
Doğal afetler ve şebeke saldırılarına karşı şebekenin esnekliği	Terörist saldırılara veya doğal afetlere karşı zayıflık	Saldırı ve doğal afetlere karşı esnek ve hızlı koruma sistemi

Şekil 2.2’de akıllı şebekenin kavramsal modeli görülmektedir [17]. Amerika’dan Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü (NIST) tarafından yaklaşık 600 şirketin katılımıyla önerilen akıllı şebeke kavramsal modeli bilim dünyasında da kabul edilmiştir. NIST modeline göre elektrik enerjisi tüketicileri aynı zamanda üretici konumunda olabilmektedir. Böylece literatüre yeni bir kavram “prosumer” kazandırılmıştır. Türkçede “prosumer” kelimesinin karşılığı olarak “üretken-tüketici” ifadesi kullanılabilir. Böylece elektrik enerjisi tüketicileri, aynı zamanda üretici konumunda olacak ve elektrik enerjisini tükettiği yerde üretebilecektir. Kullanmadığı fazla elektrik enerjisini ya depolayacak ya da elektrik şebekesine verip sistemin yük açısından rahatlaması sağlanabilecektir.



Şekil 2.2: NIST akıllı şebeke kavramsal modeli.

Şekil 2.2'deki akıllı şebeke kavramsal modeline göre akıllı şebekenin aşağıdaki elemanları içermesi gerekmektedir:

- **Toplu üretim:** Akıllı elektrik üretimi
- **Güç şebekesi (iletim ve dağıtım):** Güç kalitesi ve izleme merkezleri, karar destek sistemleri ve sistem bütünlüğünü koruma programları, dağıtım otomasyonu ve koruma sistemleri, dağıtım yönetim sistemleri, akıllı sayaçlar.
- **Üreticiler / tüketiciler:** Akıllı enerji tüketimi, elektriğin üretildiği yerde tüketilmesi, akıllı ev enerji yönetim sistemleri.
- **Haberleşme:** Haberleşme teknikleri ve haberleşme güvenliği.

Akıllı şebekeler ile ilgili Avrupa'da yapılan çalışmalara göz atıldığında ilk olarak 2006 yılında Avrupa Birliği Akıllı Şebekeler Platformu kurulmuştur. Bu platformda Avrupa Birliği'nin akıllı şebekeler vizyonu, hedefleri ve bu hedeflere ulaşabilmek için neler yapılacağı taslak olarak belirlenmiştir. Akıllı şebekelerin temel özellikleri olan sürdürülebilirlik, güvenilirlik ve verimlilik gibi konular temel prensip olarak kabul edilmiştir. Avrupa Birliği'nin 20-20-20 temel prensibine göre; 2020 yılında enerji arzının

% 20'si yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanacak; böylece enerji verimliliği %20 oranında artacak ve CO₂ salınımı %20 oranında azalacaktır. Yine 2009 yılında yürürlüğe giren 2009/72/EC (Elektrik Piyasası) direktifleri arasında akıllı şebeke ile ilgili aşağıdaki maddeler yer almaktadır:

- 2020 yılına kadar Avrupalı tüketicilerin %80'inin akıllı sayaçlara sahip olması
- Akıllı şebeke yatırımlarının hız kazanması (2020 yılına kadar yaklaşık 300 projeye 56 milyar Euro yatırım yapılması planlanmaktadır.)
- 2022 yılına kadar Avrupa genelinde 240 milyon akıllı sayaç kullanılması

Bu bağlamda bazı Avrupa ülkelerindeki akıllı şebeke çalışmaları Çizelge 2.3'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.3: Avrupa ve Dünya'da akıllı şebeke çalışmaları [18].

Ülke Adı	Akıllı Şebeke Çalışmaları
İtalya	Akıllı şebeke teknolojisinin öncüsü kabul edilir. 2015 yılı itibariyle 2,1 milyar Euro akıllı şebeke yatırımı yapmıştır. Bugün itibariyle elektrik sayaçlarının %85' i akıllı sayaçtır.
Almanya	DENA Akıllı Şebeke Projesi yürütücüsüdür. 10 yıllık süreçte akıllı şebekeye 24 milyar \$ yatırım yapmayı planlamaktadır.
Fransa	2012-2016 yılları arasında elektrik sayaçlarının %95' inin akıllı sayaçlara dönüştürülmesi hedeflenmiştir.
ABD	Ortak hedef; ulusal iletim ve dağıtım hattının modernizasyonunu sağlamaktır. Akıllı sayaçlar için 50-60 milyar \$ yatırım planlamaktadır. Toplam yatırımın önümüzdeki 15-20 yıllık süreçte 300-450 milyar \$ olacağı düşünülmektedir.
Çin	Akıllı şebekeler aşamalı geçiş programını benimsemiştir. 2016 yılı itibariyle akıllı şebekelere 60 milyar \$ harcama yapılmış ve 2020 yılına kadar 100 milyar \$ çıkması planlanmaktadır.
Hindistan	Elektrik şebeke kayıpları yaklaşık % 50 ile en fazla olan ülkedir ve 2020 yılına kadar 130 milyon sayacın "akıllı" hale dönüştürülmesi planlanmaktadır.
Brezilya	Akıllı şebeke için pilot şehirler seçilmiş ve 2012 yılında 1 milyon uzaktan okunabilir elektrik sayacı montajı gerçekleştirmiş ve 2021 yılına kadar yaklaşık 63 milyon akıllı sayaç kurulumu planlanmaktadır.
Güney Kore	2030 yılına kadar 3 aşama ve 5 fazdan oluşan akıllı şebeke stratejisi, sadece akıllı dağıtım-iletim şebekelerini kapsamayıp; ulaşım, tüketim ve taşımacılık gibi diğer sektörleri de kapsamaktadır.

Türkiye önümüzdeki yıllarda ithal fosil kaynaklara dayalı elektrik üretiminden; nükleer, yerli linyit ve yenilenebilir kaynaklara yönelerek enerji tedarikini temelden dönüştürmeyi hedeflemektedir [19]. Enerjinin verimli kullanımıyla rekabetçi bir enerji

piyasaının varlığı, tüketici memnuniyeti ve katılımcılığının artırılmasının yanı sıra, toplumsal refahın da beklenen seviyelere getirilmesine büyük oranda katkı sağlayacaktır. Ulusal elektrik iletim ve dağıtım şebekemizin önünde zorlu, ama aynı ölçüde fırsatların da olduğu bir gelecek bulunmaktadır. Her yıl milyarlarca lira yatırım yapılan şebekenin en önemli önceliği, yeni bağlantı taleplerini karşılamak ve yaşanan kısımları yenilemek olsa da sürdürülebilir bir ekonomik büyüme için akıllı şebekeye de yatırım yapmak gerekecektir. Arz güvenliği, dışa bağımlılığın azaltılması, enerjinin yerleştirilmesi ve öngörülebilir bir enerji piyasası için ulusal enerji politikamızın temel amacı olan “%100 Yerli ve Yenilenebilir” kaynaklara dayalı düşük maliyetli elektrik üretimine geçmemiz gereklidir. Bu geçişi sağlamak için de iletim ve dağıtım şebekelerimizin “Akıllı Şebeke” standartlarına vakit geçirmeden dönüşümü şarttır.

Türkiye Akıllı Şebekeler 2023 (TAŞ’2023) projesi kapsamında akıllı şebekeler ile yapılması gereken öncelikli çalışmalar ortaya çıkarılarak dağıtım şirketlerine 2035 vizyonu çerçevesinde kısa ve orta vadede yol haritası sunulması hedeflenmiştir. 2035 akıllı şebeke vizyonuna erişebilmek için kanun koyucuların, düzenleyici otoritelerin, endüstrinin, enerji üreticilerinin, şebeke sistem işleticilerinin, tedarikçilerin, Ar-Ge kuruluşlarının, uluslararası kuruluşların ve finans sektörünün teknolojinin gelişmesine paralel olarak tüketicilerin taleplerine kulak vererek birlikte çalışmaları gerekmektedir. Akıllı şebekelerin istenilen hız ve düzeyde tesisi için; açık, öngörülebilir ve tutarlı uzun vadeli politikaların oluşturulması, yenilikçi yatırımların desteklenerek kamuoyunun tam desteğinin alınması, tüm paydaşların bilgi düzeylerini geliştirmek amacıyla eğitim ve bilinçlendirme faaliyetlerine hız verilmesi büyük önem taşımaktadır. Akıllı şebeke sistemleri kullanılması sonucu; dengeli tüketim değerlerinin yakalanması, anlık veri akışı, enerji arz-talebinde kopmaların önüne geçilmesi, karbon emisyon değerlerinin azalması, enerji verimliliğinin artması gibi hedeflere ulaşılabilir. Akıllı şebeke

2.2 Akıllı Şebekelerde Optimizasyon Kavramı ve Kullanılan Optimizasyon Algoritmaları

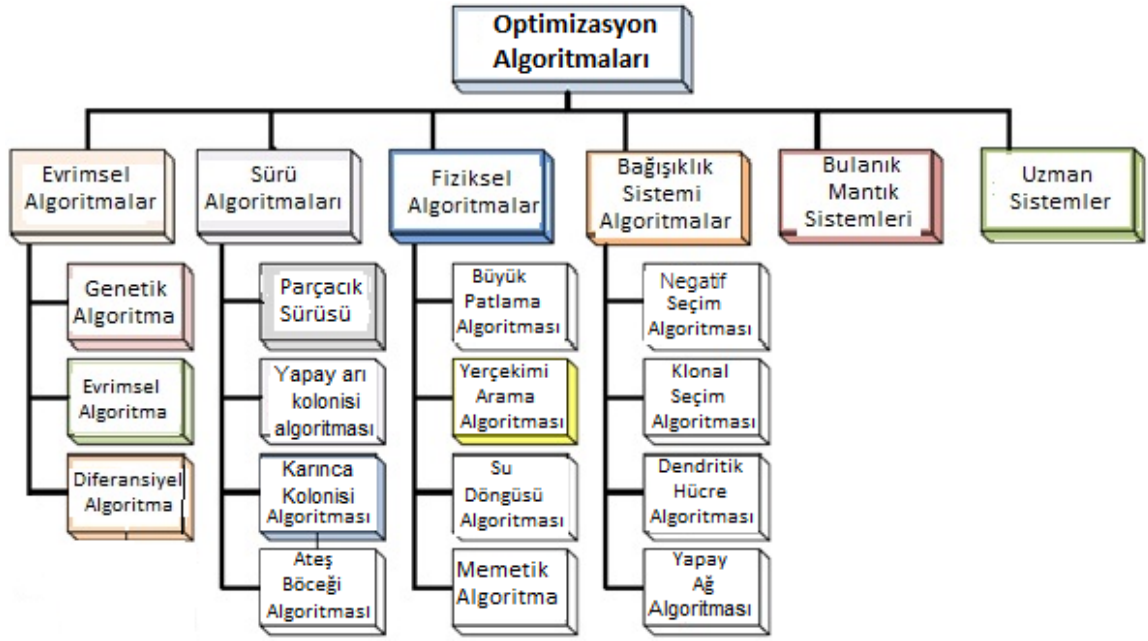
Optimizasyon problemleri yaklaşık elli yıldır araştırma konusu olmuştur ve olmaya da devam etmektedir. En temel anlamı ile optimizasyon; eldeki kısıtlı kaynakları en verimli biçimde kullanmak [20], matematiksel olarak bir fonksiyonun minimize ya da maksimize edilmesi olarak tanımlanır [21]. Her gün mühendisler ve karar vericiler mekanik sistemler, görüntü işleme, elektriksel sistemler vb. gibi çeşitli teknik sektörlerde

ortaya çıkan artan karmaşıklık problemlerini çözmekle uğraşmaktalar. Bu problemler genellikle bir veya daha fazla kişi tarafından tanımlanan optimizasyon problemleri olarak ifade edilir. Bu tür problemlerde farklı alternatifler vardır ve bir kullanıcı veya kuruluş bunlardan birini seçmelidir. Mevcut bir alternatifin seçilmesinin kullanıcı üzerinde bir çeşit değerlendirme fonksiyonu ile ölçülebilen veya tanımlanabilen bir etkisi vardır. Ayrıca kullanıcıların bazı kısıtlamalara uymaları gerektiğinden, mevcut tüm alternatiflerden özgürce seçim yapamazlar. Dolayısıyla, bu problemler bir dizi karar değişkeninden ve alternatif sayısını sınırlayan ilave kısıtlardan oluşur. Her karar alternatifi farklı bir etkiye sahip olabilir ve objektif bir fonksiyonla değerlendirilebilir. En sonunda amaç; nesnel işlevi en üst düzeye indiren / en aza indiren karar alternatifini bulmaktır. Hedefe ulaşmak için, optimal kararlara yakın bir karar alternatifini analiz edebilecek ve sağlayabilecek sistematik ve rasyonel bir süreci takip etmek gerekir. Bu süreci takip edebilmek için aşağıdaki adımlar uygulanır:

- 1. Sorunu tanımak.** Bir optimizasyon probleminin varlığının farkına varmak için kullanıcılar veya kuruluşlar, belirli bir kaynak tahsisi yapmak için farklı alternatiflerin olduğunun farkında olmalıdır. Bu durum genellikle dış baskı ya da ortamdaki değişikliklerin bir sonucu olarak ortaya çıkar (yeni teknoloji, yeni gereksinimler, vs.).
- 2. Sorunu tanımlamak.** Bunu yapmak için, farklı karar alternatifleri formüle edilmeli, dikkate alınması gereken herhangi bir ek kısıtlama olup olmadığı tespit edilmeli ve değerlendirme kriterleri sürecin hedefleri kadar seçilmelidir. Problem tanımının en önemli özelliği, genellikle karar alternatifi sayısı ile ortaya çıkan problemin zorluğu arasında bir denge olduğu için ilgili karar alternatiflerinin seçimidir.
- 3. Model oluşturmak.** Sorun modeli genellikle gerçek dünyanın basitleştirilmiş bir temsildir. Matematiksel modeller, bir problemin en uygun ilişkilerini ve özelliklerini çıkarır ve matematiksel ifadeleri kullanıp formüle ederek gerçeği tanımlar. Bu nedenle, bir model inşa ederken, idealize edilmiş veya ihmal edilmiş olan gerçekliğin her zaman bir yönü vardır.
- 4. Modeli çözme.** Problemin modeli tanımlandıktan sonra, modele ve probleme uygun algoritma seçilerek çözüme ulaşılır. Bu adımın amacı fonksiyonu minimum ya da maksimum yapan çözüme ulaşmaktır. Geleneksel optimizasyon teknikleri için problemler çok karmaşık hale geldiğinde, çözümü elde etmek için diğer yapay zeka tabanlı optimizasyon algoritmalarına başvurulur.

5. **Çözümlerin doğrulanması.** Optimal çözümler elde edildikten sonra, modelin varyasyonlarına nasıl bağlı olduklarını belirlemek için değerlendirilmeleri gerekir.
6. **Çözümlerin uygulanması.** Bulunan çözüm onaylandıktan sonra uygulamaya hazır hale getirilir.

Akıllı şebekelerde son yıllarda yapılan çalışmalar neticesinde özellikle optimizasyon problemlerinin çözümü için farklı algoritmalar geliştirilmiştir. En sık kullanılan optimizasyon algoritmaları Şekil 2.3’de görülmektedir.



Şekil 2.3: En sık kullanılan optimizasyon algoritmaları.

Elektrik şebekelerinde optimum yük dağılımı problemi sistemin ekonomik ve güvenli işletilmesinde önemli bir paya sahiptir. Böylece elektrik şebekesindeki kayıplar minimum olacak; şebekeye bağlı ekipmanların güç dağılımı optimize edilerek sistemin verimli çalışması sağlanacaktır. Özellikle akıllı şebekelerde optimum yük dağılımı problemi için literatürde farklı algoritmalar kullanan çalışmalar mevcuttur.

Y.Lii ve arkadaşları, optimum güç kaybı problemi için diferansiyel gelişim algoritması tabanlı yapay arı kolonisi algoritması önermişlerdir [22]. Her iki algoritma birleştirilerek hibrid bir algoritma elde edilmiş ve diferansiyel gelişim algoritmasındaki parametre sayısı fazlalığı azaltılarak daha optimum ve hızlı çözümler elde edilmiştir. Elde edilen algoritma IEEE 14, IEEE 30 ve IEEE 57-baralı test sistemlerine uygulanmış ve sonuçlar diğer benzer algoritmalarla kıyaslanmıştır.

R.H.Liang ve arkadaşları, özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarından olan rüzgar enerjisinden elektrik enerjisi üretim aşamalarındaki belirsizlikleri azaltmak ve sistemin daha stabil çalışmasını sağlamak için ateş böceği algoritmasını kullanmışlardır. Özellikle aktif güç dağılımındaki kayıpları azaltmak, yakıt maliyetini düşürmek için parametreleri güncellenebilen ve değiştirilebilen çevrim içi bir ateş böceği algoritması önerilmiş ve elde edilen sonuçlar IEEE 30-baralı test sistemine uygulanarak algoritmanın üstünlükleri ve eksiklikleri belirlenmiştir [23].

S.Duman ve arkadaşları, optimum güç dağılımı probleminde kontrol değişkenlerini ayarlamak için yerçekimsel arama algoritmasını kullanmışlardır [24]. Önerilen algoritma IEEE 30 ve IEEE 57-baralı test sistemlerine uygulanmış ve simülasyon sonuçlarına göre algoritmanın üstünlükleri belirlenmiştir.

Akıllı şebeke dağıtık üretim, dağıtılabilir yükler, iletişim sistemleri şebekeye bağlı ve ada modlarında çalışan depolama cihazları gibi çeşitli teknolojilerin entegrasyonundan oluştuğu için geleneksel optimizasyon yöntemleri doğru sonuçlar vermemektedir. Optimal güç akışı problemini çözmek için özellikle son on yılda birçok teknik geliştirilmiştir. Operasyon ve planlama alanlarında temel bir optimizasyon aracı olan optimal güç akışı, elektrik güç sistemlerinin verimli ve stabil kullanılması için önemli bir araçtır.

H.Abdia ve arkadaşları, akıllı şebekede optimum güç dağılımı problemini gözden geçirerek kullanılan algoritmaları birbirleriyle kıyaslamışlardır. Özellikle akıllı şebekede optimum güç dağılımında karşılaşılabilecek zorluklar ele alınmıştır [25].

Optimal güç akışı problemini çözmek için kullanılan diğer bir yöntem diferansiyel arama algoritmasıdır. K. Abacı ve arkadaşları, bu algoritmayı kullanarak kademe yük değiştirici oranları ve sistemdeki şönt kapasitör değerlerini değiştirerek optimum güç dağılımını elde etmişlerdir [26]. Önerilen yöntem IEEE 9, IEEE 30 ve IEEE 57-baralı test sistemlerine uygulanmış ve güncel kullanılan birçok optimizasyon yöntemleriyle kıyaslanarak sonuçlar yorumlanmıştır.

Rüzgar ve güneş enerjisi gibi yenilenebilir kaynakların akıllı şebeke sistemine dahil edilmesi sonucu sistemdeki jeneratörlerin daha ekonomik ve verimli çalışabilmesi için optimum güç dağılımı yapılması gerekmektedir. [27]'de; böyle bir sistemde optimum güç dağılımı problemi çözüm aşamalarından bahsedilerek yeni bir yaklaşım önerilmiştir.

[28]'de; optimum güç dağılımı için yeni ve verimli bir algoritma olan Lig Şampiyonası Algoritması önerilmiştir. Bu yöntem, spor takımlarının oluşturulan yapay spor ligindeki davranışlarından esinlenerek oluşturulmuştur. Önerilen yöntem Cezayir

elektrik şebekesine uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar diğer optimizasyon algoritmaları ile karşılaştırılarak algoritmanın sağlamlığı ve üstünlüğü gösterilmiştir.

Akıllı şebekelerin temel özelliklerinden birisi de dağıtık enerji kaynaklarının sisteme ilave edilebilmesidir. Optimizasyon teknikleri sayesinde dağıtık enerji kaynakları sisteme sorunsuz ilave edilebilmektedir. Bu amaçla kullanılan optimizasyon algoritmalarından birisi de genetik algoritmadır. [29]'da amaç; akıllı şebeke sisteminin ekonomik ve güvenilir çalışmasını sağlayacak karar verme mekanizmasını oluşturmaktır. Algoritma IEEE 11-baralı test sistemine uygulanmış ve algoritmanın kullanılabilirliği ve sürdürülebilirliği test edilmiştir.

T.Bouktir ve arkadaşları [30], optimal güç dağılımı için aslan karınca optimizasyon algoritmasını kullanmışlardır. Aslan karıncalarının doğadaki avlanma tekniklerinden esinlenerek geliştirilen algoritma IEEE 30, IEEE 118 ve IEEE 300-baralı test sistemlerine uygulanmıştır. Önerilen algoritma sonucunda elde edilen gerçek güç kayıplarının ve hesaplama süresinin diğer algoritmalara göre üstünlüğü kanıtlanmıştır. Optimal güç dağılımı analizi için optimal bir çözüm sağlamadaki etkinliği açıkça belirtilmiştir.

M.Ghasemi ve arkadaşları [31], optimal yük akışında kontrol değişkenlerinin optimal ayarları için Levy mutasyon stratejisini kullanarak yeni öğretim-öğrenme tabanlı bir algoritmadan bahsetmişlerdir. Algoritma IEEE 30 ve IEEE 57-baralı test sistemleri üzerinde test edilip literatürdeki diğer algoritmalar ile karşılaştırılmıştır. Uygulanan simülasyonlardan elde edilen sonuçlar optimal yük akışı problemi için önerilen algoritmanın etkili bir çözüm olduğunu vurgulamıştır.

[32]'de; optimal yük akışı için diferansiyel gelişim algoritması ve parçacık sürüşü algoritması kullanılarak termik santraller için yakıt maliyetini minimum yapan bir çözümde bahsedilmiştir. Bilindiği gibi elektrik enerjisi üretiminde termik santraller önemli bir rol oynamaktadır. Bu tip santrallerin birlikte çalışmaları durumunda optimum çalışma koşullarının belirlenmesi, enerji üretim maliyeti açısından son derece önem taşımaktadır. İlk olarak geliştirilen optimizasyon algoritmaları literatürdeki mevcut sistemlere uygulanarak geçerlilikleri ve üstünlükleri gösterilmiştir. Devamında geliştirilen program yardımıyla optimum kontrol değişkeni değerleri elde edilerek diğer algoritmalarla karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre kullanılan algoritmaların yakıt maliyeti probleminde diğer algoritmalara göre daha avantajlı sonuçlar elde ettiği gösterilmiştir.

[33]'de; yeni bir meta-sezgisel algoritma olan sosyal örümcek optimizasyon algoritması optimal yük akış analizi için kullanılmıştır. Önerilen algoritmada geleneksel örümcek optimizasyonu algoritmasına göre üç değişiklik yapılmıştır. Birinci ve ikinci değişiklikler, kadın örümceklerin ve erkek örümceklerin hareket stratejisini değiştirerek yeni çözüm üretimine odaklanmak, üçüncü değişiklik ise kadın örümcek oranını uygun bir orana sabitlemektir. Önerilen algoritma IEEE 30, IEEE 57 ve IEEE 118-baralı test sistemlerine uygulanmıştır. Algoritmada kullanılan parametre sayısının azlığı, daha basit olması, sonuçları elde etmek için daha az bir zamana ihtiyaç olması gibi avantajlarından bahsedilmiştir. Yöntem diğer algoritmalarla göre çözüme daha hızlı yakınsamış ve daha optimal sonuçlar elde etmiştir.

[34]'de; optimal güç akışı problemini çözmek için güvelerin ay ışığına yönlendirilmesinden esinlenerek yeni bir güve sürüsü algoritmasından bahsedilmiştir. Önerilen yöntem IEEE 30, IEEE 57 ve IEEE 118-baralı test sistemlerine uygulanmıştır. Algoritma gerçek güç üretimi, yük kademe değiştirici oranları, bara gerilimleri ve şönt kapasitans değerleri gibi kontrol değişkenlerini optimize etmek için uygulanmıştır. Önerilen algoritmanın etkinliği ve üstünlüğü, diğer algoritmalarla kıyaslanmıştır.

[35]'de; optimum güç akışı probleminin çözümünde yeni bir meta-sezgisel algoritmalarından olan karga arama algoritması kullanılmıştır. Algoritma toplam yakıt maliyeti, aktif güç kaybı gibi amaç fonksiyonlara uygulanarak optimize edilmeye çalışılmıştır. Yöntem IEEE 30 ve IEEE 118-baralı test sistemlerine uygulanmış ve diğer algoritmalarla kıyaslanarak avantajları ve dezavantajları belirtilmiştir.

Taher ve arkadaşları [36], güç kaybının azaltılması amacıyla DSTATCOM'un optimum konumu, boyutlandırılması ve dağıtım şebekelerinde akım ve gerilim profilinin iyileştirilmesini incelemiştir. Klonal seçim algoritması ile DSTATCOM için en uygun yer ve boyut araştırması yapılmış, gerilim ve akım iyileştirmeleri için düşük kurulum maliyeti ve mümkün olan en düşük güç kaybı işleme dâhil edilmiştir. Çalışmada sadece reaktif güç değişimi göz önünde bulundurulmuş, şebekedeki aktif güç değişimleri üzerine çalışılmamıştır. Başlangıç popülasyonu olarak üç voltaj değeri (üç yük seviyesi için hafif, orta ve tepe) oluşan rastgele bireyler üretilmiştir. Popülasyonda her antikor adayının amaç fonksiyonu ve yakınlık ilişkisini değerlendirmek için yük akışı gerçekleştirilmiştir. Algoritma IEEE 33 ve IEEE 69-baralı test sistemlerine uygulanmıştır. Algoritma, DSTATCOM'un hangi veri yoluna bağlandığında ne kadarlık güç kaybı olacağı konusunda optimum çözüm bulmak için kullanılmıştır. Önerilen yaklaşım, genetik algoritma ile karşılaştırılmış ve minimum boyut ve çalışma süresi elde edilmiştir.

Panigrahi ve arkadaşları [37], ekonomik yük tevzisinin çözümü için klonal seçim algoritması kullanarak bir yaklaşım önermiştir. Bu yaklaşımla iletim kayıpları, dinamik çalışma kısıtlamaları, yasak bölgeler ve birden fazla yakıt kullanımından kaynaklı düzgün olmayan maliyet fonksiyonu göz önünde bulundurulmuştur. Algoritmada düzgün ve düzgün olmayan maliyet fonksiyonlarını optimize etmek için iki alternatif model hazırlanmıştır. Bunlardan biri üretici kısıtlamaları, güç kaybı ve rampa hızı sınırlamaları ile sınırlandırılmış bir ikinci dereceden maliyet fonksiyonu, diğeri de düzgün olmayan maliyet fonksiyonudur. Her popülasyon 20 antikor olarak kabul edilmiş ve veriler ikili dizilimle kullanılmıştır. Maliyet fonksiyonu amaç fonksiyonu olarak değerlendirilmiştir. Algoritma sonucu elde edilen değerler genetik algoritma ile karşılaştırılmış, üzerinde çalışılan her iki model içinde sistem çıkış gücü, toplam çıkış gücü ve toplam üretim maliyeti için en iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Hatata ve arkadaşları [38], klonal seçim algoritmasını kullanarak güneş/rüzgâr/batarya hibrit güç sisteminin boyutlandırılması üzerine çalışmışlardır. Sistem optimum boyuttaki PV dizileri, rüzgar türbinleri ve bataryalar ile tasarlanmıştır. Böylece, en az dalgalanma ve maliyetle talep ihtiyacının karşılanması amaçlanmıştır. Algoritmada, güç kaynağı kayıp olasılığı, hibrit güç sistemlerinin güvenilirlik endeksi olarak kabul edilmiş ve optimizasyon işlemlerinde mümkün olan en az değerde olması beklenmiştir. Başlangıç popülasyonu, PV sayısı, rüzgâr türbin sayısı ve batarya sayısından oluşmaktadır. Amaç fonksiyonu; sistemin sabit maliyetleri, işletme ve bakım maliyetleri, yer değiştirme maliyetleri ve hurda değerinden oluşmaktadır. Algoritma sonuçları; Fransa ve Mısır'da bulunan iki vaka çalışmasına uygulanmış ve sonuçlar klonal seçim algoritmasının daha iyi bir çözüm ürettiğini göstermiştir.

Azadeh ve arkadaşları [39], 16 ülkeden elde ettikleri 1980-2006 yıllarına ait verilerle klonal seçim algoritması kullanarak; yıllık elektrik enerjisi tüketimi tahmini yapmışlardır. Algoritmada, veri dağılımının düzensizliği (elektrik talep indikatörlerinin dalgalı oluşu) nedeniyle non-lineer eşitlikler kullanılmıştır. Veriler, test ve eğitim verileri olarak ikiye ayrılmış, eğitim verileri algoritmada kullanılırken, test verileri ortalama mutlak yüzde hata (MAPE) formülü kullanılarak hata değerinin bulunmasında kullanılmıştır. Aynı formül algoritma da amaç fonksiyonu olarak da kullanılmıştır. Böylece; gerçek verilerin tahmini verilerden farkı alınarak, her jenerasyonda minimum farka sahip birey elde edilmeye çalışılmıştır.

3. OPTİMUM YÜK DAĞILIMI PROBLEMİ

3.1 Giriş

Optimal yük dağılımı problemi son yıllarda elektrik şebekelerinin hızlı bir şekilde gelişmesiyle birlikte üzerinde yoğun çalışmalar yapılan bir konu haline gelmiştir. Nüfus oranındaki hızlı artış ve buna paralel olarak sanayileşmedeki baş döndürücü gelişmeler elektrik enerjisine olan ihtiyacın sürekli olarak artmasına neden olmaktadır. Bunun sonucu olarak elektrik güç sistemlerindeki yükler artmış ve böylece elektrik şebekeleri daha büyük ve karmaşık hale gelmiştir. Bu karmaşıklığın üstesinden gelmek ve artan enerji talebini karşılayabilmek için son yıllarda birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemler içerisinde en verimli ve sıklıkla kullanılan yöntem optimum yük dağılımıdır ve ilk olarak 1962 yılında Carpentier tarafından ortaya atılmıştır [40].

Carpentier'in optimum yük akışı problemini tanımlamasından sonra Dommel ve Tinney (1968), güç akış çözümünü elde edebilmek için ilk optimum güç akış yöntemini önermişlerdir [41]. Dommel ve arkadaşlarının kullandığı yöntemler lineer programlama ve ağırlaştırılmış programlama yöntemleriydi. Optimal yük akışı probleminin çözümünü basitleştirmek için birçok matematiksel varsayımlar kullanılmıştır.

Özellikle son yıllarda elektrik endüstrisi temel değişimler içerisine girmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının sayısındaki hızlı artış, dağıtılmış jeneratörlerin artışı, elektrik güç sistemine entegre olacak elektrikli araç şarj istasyonlarının artışı ve depolama eleman sayılarının artışı elektrik güç sistemine ekstra yükler getirmektedir. Bu eğilim devam ettiği sürece; elektrik güç sistemlerinde kontrol edilen nesnelerin sayısının hızla artmasına neden olmaktadır. Böylece kontrol edilen nesnelerin birbirleriyle ve kontrol merkeziyle etkileşimleri giderek karmaşıklaşmaktadır. Bu durum geleneksel kontrol merkezinin yapısında yeni değişikliklere neden olacaktır. Bu noktada optimal yük akışı probleminin çözümü büyük önem taşımaktadır [42].

Optimal yük akışı elektrik güç sistem analizinde ve kontrolünde lineer olmayan, çoklu model optimizasyon tekniğidir [43]. Optimal yük akışındaki temel amaç; verilen bir güç sisteminde daha önce belirlenen bir amaç fonksiyonuna göre optimal değerleri bulmaktır. Amaç fonksiyon olarak yakıt maliyeti fonksiyonu, güç kayıpları ve gerilim profilini iyileştirme seçilebilmektedir [44].

3.2 Optimum Güç Akışı

Güç sistemlerinde kullanılan ekipmanların fiziksel sınırlarını ve işletme limitlerini aşmadan, sistemdeki jeneratörlere üretimin paylaştırılması ve baralar arasındaki en uygun güç alış-verişinin sağlanması optimal güç akışı olarak tanımlanır [45]. Son yıllarda enerji iletim sistemleri üzerinde uğraşılan problemlerden birisi optimal güç akışı problemidir. Problemin amacı; eşitlik ve eşitsizlik kısıtlamalarını sağlayarak, enerji sisteminin enerji üretim maliyetinin minimizasyonudur. Enerji sistemlerindeki kontrol değişkenleri; salınım barası hariç diğer jeneratör baralarının aktif çıkış güçleri, jeneratör baralarının gerilim genlik değerleri, transformatör kademe değerleri ve şönt kapasite değerleridir. Genel olarak optimal güç akışı problemi aşağıdaki gibi gösterilir [46]:

Amaç fonksiyonu:

$$f(x,u) \quad (3.1)$$

sınır denklemleri:

$$g(x,u)=0 \quad (3.2)$$

$$h(x,u) \leq 0 \quad (3.3)$$

olarak verilir. Tüm eşitliklerde x durum, u kontrol değişkenlerini ifade eder. Durum değişkenleri (bağımlı değişkenler) aşağıdaki gibidir:

- Salınım bara gerilimi ve faz açısı
- Jeneratör aktif ve reaktif güç çıkış değerleri
- Hat parametreleri

Kontrol değişkenleri (bağımsız değişkenler) aşağıdaki gibidir:

- Aktif ve reaktif güç üretimi
- Faz kaydırma açısı
- Aktif ve reaktif güç
- İletim hattı akışları

x durum vektörü Denklem 3.4'teki gibi gösterilebilir:

$$x^T = [V_{L1}.....V_{LN}, P_{G1}, Q_G.....Q_{GN}, S_{L1}.....S_{LN}] \quad (3.4)$$

Burada:

V_L : Yük barası gerilimi

P_{G1} : Salınım barası aktif güç değeri

Q_G : Jeneratör reaktif güç değeri

S_L : İletim hattı görünür güç değerleri

u vektörü Denklem 3.5'teki gibi gösterilir:

$$u^T = [V_{G1}, \dots, V_{GN}, P_{G2}, \dots, P_{GN}, T_1, \dots, T_N] \quad (3.5)$$

V_G : Jeneratör gerilimleri

P_G : P_{G1} salınım barası hariç jeneratör aktif güç çıkışları

T : Transformatör kademe ayarları

3.2.1 Aktif güç kaybı fonksiyonu

Güç sistemindeki aktif güç kayıplarını optimize edebilmek için aşağıdaki eşitlik kullanılır:

$$P_{kayıp} = \sum_{i=1, j \in i}^N G_{ij} (V_i^2 + V_j^2 - 2 \cdot V_i \cdot V_j \cdot \cos \theta_{ij}) \quad (3.6)$$

N : Bara sayısı

G_{ij} : i ve j baraları arasındaki ortak iletkenlik

V_i : i barasının geriliminin genliği

V_j : j barasının geriliminin genliği

θ_{ij} : i ve j baraları arasındaki faz farkı açısı

3.2.2 Yakıt maliyeti fonksiyonu

Elektrik enerjisi üretiminde yüksek oranda payı olan termik santrallerde maliyeti diğer enerji kaynaklarına kıyasla daha yüksek olan kömür, linyit, fuel-oil gibi yakıtların kullanımı; yakıt ve dolayısıyla üretim maliyetini yüksek değerli kılmaktadır. Bu tip santrallerde yakıt maliyeti; çıkış gücüne bağlı olarak 2. dereceden fonksiyon (polinom) olarak tanımlanmakta ve talep gücün karşılanmasında her bir santralin ve sonucunda toplam maliyetin olası en düşük değerinde tutulabilmesi için optimum çalışma koşullarının belirlenmesi gerekmektedir. Bundan dolayı yakıt maliyeti fonksiyonunun optimize edilmesi gerekmektedir. Bu problem ayrık optimizasyon problemi olduğu için klasik optimizasyon yöntemleri çözümü elde etmek için yetersiz kalmaktadır. Bu yüzden meta-sezgisel optimizasyon yöntemlerine başvurulur.

Tezde kullanılan bara sistemlerindeki jeneratörlerin toplam saatlik yakıt maliyeti fonksiyonu Denklem 3.7'de gösterilmiştir.

$$F_{maliyet} = \sum_{i=1}^{N_g} (a_i + b_i P_{gi} + c_i P_{gi}^2) \text{ (\$/saat)} \quad (3.7)$$

N_g : Sistemdeki toplam jeneratör sayısı

P_{gi} : i .barada üretilen aktif güç

a_i, b_i, c_i : Jeneratör yakıt maliyeti katsayıları

Burada amaç; $F_{maliyet}$ yani yakıt maliyeti fonksiyonunu optimizasyon algoritmaları yardımıyla saat başına düşen değerini (\$) minimum yapmaktır.

3.2.3 Gerilim profilinin iyileştirilmesi

Yakıt maliyetinin azaltılması ile yük baralarının gerilim değerlerindeki sapmaları düzeltme ve referans olarak belirlenen 1.0 p.u. değerine mutlak değer bazında mümkün olduğunca yaklaştırmanın bir arada gerçekleştirilmesinin amaç edinildiği durumda, her bir yük barasının hedeften sapmayı veren mutlak değerleri toplamı güç sisteminin gerilim profilini düzeyini göstermektedir. Referans değere yakınsamanın fazla olması, bir başka deyişle yük baraları gerçek değerleri ile referans arasındaki farkın kümülatif toplamının sıfıra yakınlığı, yük baralarının birbirine ve referans değere yakın gerilim düzeyinde olduğunu ifade etmektedir. Yük barası geriliminin p.u cinsinden referans değeri 1.0 olmak üzere gerilim profilini iyileştirme amaçlı durum Denklem 3.8’de görülmektedir.

$$VD = \sum_{i=1}^{N_{PQ}} |V_i - 1.0| \quad (3.8)$$

N_{PQ} : Sistemdeki toplam bara sayısı

V_i : i .nci baranın p.u (per unit) olarak gerilim değeri

3.2.4 Eşitlik ve eşitsizlik sınırlamaları

Elektrik güç sistemlerinde optimum güç akışı analizi yapılırken bazı sınırlamalar getirmek gerekecektir. Bu sınırlamalar iki başlık altında toplanır:

a) Eşitlik sınırlamaları:

$$P_{Gi} - P_{Li} = V_i \sum_{j=1}^N V_j (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij}) \quad (3.9)$$

$$Q_{Gi} - Q_{Li} = V_i \sum_{j=1}^N V_j (G_{ij} \sin \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij}) \quad (3.10)$$

P_{Gi} : i .nci baranın aktif gücü

Q_{Gi} : i .nci baranın reaktif gücü

P_{Li} : i .nci baranın yüklenen aktif gücü

Q_{Li} : i .nci baranın yüklenen reaktif gücü

G_{ij} : i ve j baraları arasındaki ortak iletkenlik

B_{ij} : i ve j baraları arasındaki süseptans

b) Eşitsizlik sınırlamaları:

Akıllı şebekedeki elemanların sistemsel olarak güvenliğini sağlamak için elemanların alt ve üst sınırlarını gösteren eşitsizlik kısıtlamaları kullanılır [47].

$$P_{gslack}^{\min} \leq P_{gslack} \leq P_{gslack}^{\max} \quad (3.11)$$

$$Q_{gi}^{\min} \leq Q_{gi} \leq Q_{gi}^{\max}, i \in N_G \quad (3.12)$$

$$V_i^{\min} \leq V_i \leq V_i^{\max}, i \in N \quad (3.13)$$

$$T_i^{\min} \leq T_i \leq T_i^{\max}, i \in N_T \quad (3.14)$$

$$Q_c^{\min} \leq Q_c \leq Q_c^{\max}, i \in N_C \quad (3.15)$$

N : Toplam bara sayısı

N_T : Transformatör sayısı

N_C : Toplam şönt reaktif kompensatör sayısı

N_G : Jeneratör sayısı

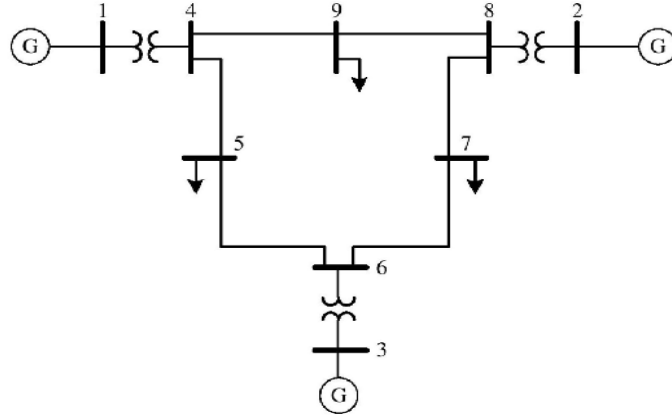
T_i : Şönt kompensatör cihazlarının reaktif gücü

3.3 Tezde Kullanılan Test Sistemlerin Tanıtılması

Tez çalışmasında IEEE tarafından kabul edilmiş olan IEEE 9, IEEE 30 ve IEEE 118-baralı test sistemleri kullanılmıştır.

3.3.1 IEEE 9-baralı test sistemi

IEEE 9-baralı test sisteminde 9 hat, 3 jeneratör, 3 kademe değiştirici transformatör bulunmaktadır. Literatürde sıklıkla kullanılmaktadır. Şekil 3.1’de IEEE 9-baralı test sistemi görülmektedir. Sisteme ait hat empedans değerleri Çizelge 3.1’de, jeneratör bilgileri Çizelge 3.2’de, yük bilgileri Çizelge 3.3’de verilmiştir.



Şekil 3.1: IEEE 9-baralı test sistemi.

Çizelge 3.1: IEEE 9-baralı test sistemi hat empedans değerleri.

Hat No	Baradan Baraya		Hat Empedansı	
			R(p.u)	X(p.u)
1	1	4	0	0.0576
2	4	5	0.017	0.0920
3	5	6	0.039	0.017
4	3	6	0	0.0586
5	6	7	0.0119	0.1008
6	7	8	0.0085	0.0720
7	8	2	0	0.0625
8	8	9	0.0320	0.1610
9	9	4	0.01	0.085

Çizelge 3.2: IEEE 9-baralı test sistemi jeneratör bilgileri.

Bara No	P _{gmin} (MW)	P _{gmax} (MW)	Q _{gmin} (MVar)	Q _{Gmax} (MVar)	Maliyet Katsayıları		
					a	b	c
1	10	250	-300	300	150	5	0,11
2	10	300	-300	300	600	1.2	0,085
3	10	270	-300	300	335	1	0,1225

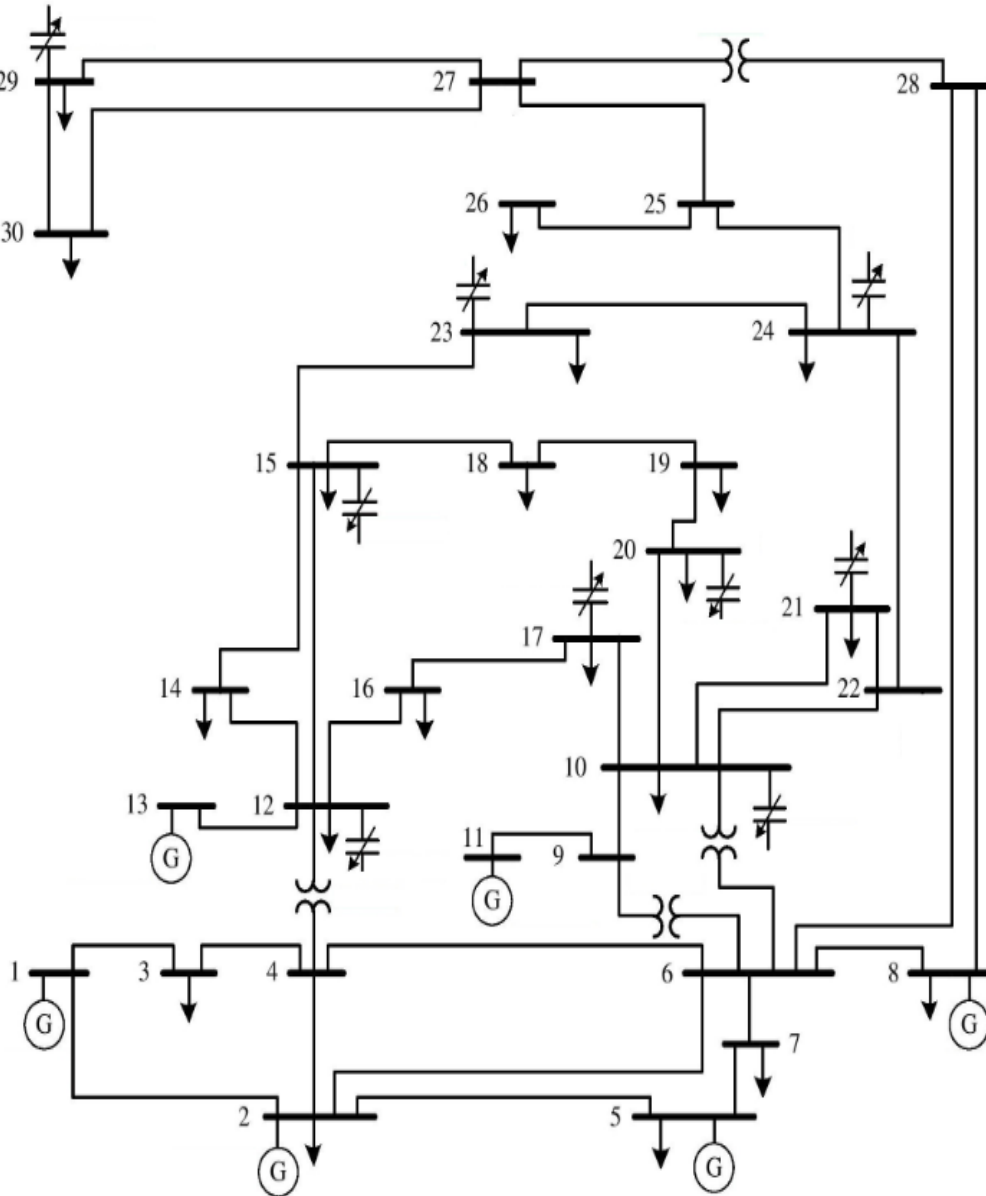
Çizelge 3.3: IEEE 9-baralı test sistemi yükleri.

Bara No	Yükler	
	P _L (MW)	Q _L (MVar)
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0	0
5	90	30
6	0	0
7	100	35
8	0	0
9	125	50

IEEE 9-baralı test sistemindeki toplam yük: $P_L=315$ MW, $Q_L=115$ MVar dır.

3.3.2 IEEE 30-baralı test sistemi

IEEE 30-baralı test sisteminde 41 hat, 6 jeneratör, 4 kademe değıştirici transformatör ve 9 adet şönt kondansatör vardır. En sık kullanılan test bara sistemidir. Şekil 3.2 'de IEEE 30-baralı test sistemi görölmektedir. Sisteme ait hat empedans ve kademe ayar değęerleri EK A1'de, jeneratör bilgileri EK A2'de, yük bilgileri EK A3'de verilmiştir.

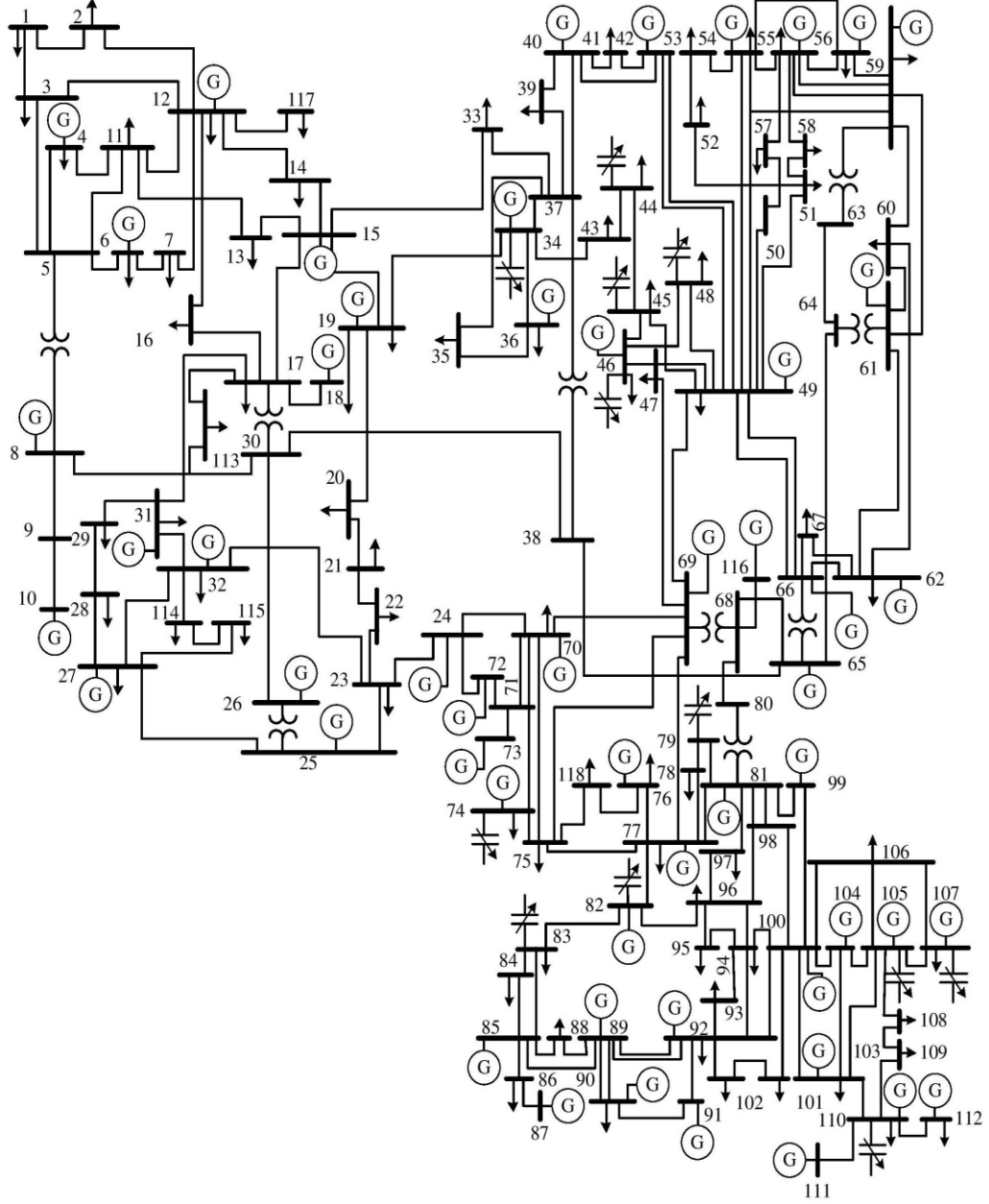


Şekil 3.2: IEEE-30 baralı test sistemi.

IEEE 30-baralı test sistemindeki toplam yük: $P_L=283,4$ MW, $Q_L=126,2$ MVar dır.

3.3.3 IEEE 118-baralı test sistemi

IEEE 118-baralı test sisteminde 186 hat, 54 jeneratör, 12 kademe değıştirici transformatör ve 9 adet şönt kondansatör vardır. Şekil 3.3’de IEEE 118-baralı test sistemi görölmektedir. Sisteme ait hat empedans değęerleri EK B1’de, jeneratör bilgileri EK B2’de, yük bilgileri EK B3’de verilmiştir.



Şekil 3.3: IEEE 118-baralı test sistemi.

IEEE 118-baralı test sistemindeki toplam yük: $P_L = 4242$ MW, $Q_L = 1438$ MVar dır.

4. OPTİMİZASYON ALGORİTMALARI

4.1 Giriş

Elektrik enerji sistemlerinde; işletme davranışını teknik olarak daha da iyileştirmek, maliyeti azaltmak ve çalışma güvenilirliğini arttırmak gibi amaçlarla yapılan tasarım optimizasyonu matematiksel algoritmalar ve tekniklerden yararlanır. Bunun için, temel olarak; önce problemin tanımlanması, sonra da tanımlanan bu problemin çözümü gerekmektedir. Problemin çözümü, iterasyon gerektiriyor olsa bile, her koşulda çözüme ulaşabilmek için önce problemin matematiksel ifadesi ile işe başlanır. Genel olarak bir optimizasyon probleminde tasarımın içinde yer alan tüm değişkenler, bir vektör oluşturacak şekilde bir araya getirilir ve Denklem 4.1'deki gibi fonksiyon biçiminde gösterilir.

$$F(x) = f(x_1, x_2, x_3, x_4, \dots, x_n) \quad (4.1)$$

Bu fonksiyon yerine göre amaç fonksiyonu ya da maliyet fonksiyonu olarak isimlendirilir. Örneğin, bir elektrik güç sisteminde optimal işletme probleminin çözümünde kullanılacak maliyet fonksiyonu;

$$F(x) = f(P_0, P_1, P_2, \dots, P_n) \quad (4.2)$$

şeklinde tanımlanabilir. Denklem 4.2'de şebeke $n+1$ boyutlu olarak kabul edilmiştir. P büyüklükleri, $0,1,2 \dots i$ düğümleri ya da pratikteki adı ile sistemin baralarında üretilen güçleri göstermektedir. Klasik problemlerde amaç fonksiyonu oluşturulduktan ve kısıtlamalar belirtildikten sonra, optimal olma koşullarının bulunması için çeşitli meta-sezgisel yöntemler kullanılır. Tez çalışmasında bu yöntemlerden yapay arı kolonisi, ateş böceği, guguk kuşu algoritması, klonal seçim algoritması ve klonal seçim ilkesi tabanlı tezde geliştirilen insan bağışıklık sistemini hesapsal olarak taklit eden yara iyileşme algoritması kullanılmıştır.

4.2 Yapay Arı Kolonisi Algoritması

4.2.1 Giriş

Yapay arı kolonisi algoritması Karaboğa tarafından 2005 yılında ortaya atılmıştır [48]. Bu algoritma bal arılarının besin bulmak için sergiledikleri davranışları örnek alarak oluşturulan ve birçok sistemlerde kullanılan optimizasyon algoritmasıdır. Bu algoritmaya göre arıların bulunduğu uzayda arılar bulundukları konumlar ile gösterilir. Bu uzayın

boyutunu, çözüm aşamasında optimizasyonu yapılacak değişkenlerin sayısı belirler. Arama uzayındaki her bir arı, bu uzayda var olan besin kaynağına bağlı olarak çalışır. Arılar, mevcut konumlarını, farklı konumlarını ve önceki besin kaynağı konumlarını göz önüne alarak sürekli değiştirirler. Arama uzayında, en uygun besin kaynağı arılar tarafından bulunur ve problemin çözümü olarak belirlenir.

Yapay arı kolonilerinde 3 çeşit arı grubu vardır: Birincisi besin kaynaklarını elinde tutan işçi arılar, ikincisi işçi arıların hareketlerini gözlemleyen gözcü arılar ve üçüncüsü besin kaynağı araması yapan kâşif arılardır. Mevcut arı nüfusuna bakıldığında nüfusun yarısını işçi arılar, diğer yarısını da gözcü arılar oluşturur. Algoritmanın başlangıç aşamasında, işçi arılar taze besin kaynakları bulurlar ve bulunan bu besin kaynağının uygun olup olmadığını belirlemek için maliyet fonksiyonu yardımıyla elde edilen nektar miktarını ölçerler. Bunu başardıktan sonra, komşuluklarda besin kaynağının olup olmadığını aramaya başlarlar. Belli bir iterasyondan sonra uygun besin kaynağı bulamayan arılar kâşif arıya dönüştürülür ve bu kâşif arılar tekrar arama uzayında besin kaynağı aramaya devam ederler. Böylece gözcü arılar besin kaynaklarını işçi arılardan devralırlar. Bu işlem genellikle olasılık teorisine dayalı bir seçim işlemiyle gerçekleştirilir. Algoritmada, işçi arılar ve gözcü arılar yerel olarak besin kaynağı aramaya devam ederken, kâşif arılar arama uzayının hepsinde besin kaynağı aramaya devam ederler. Böylece, yapay arı kolonisi algoritmasında yerel ve bütün uzaydaki arama kabiliyetleri birleştirilerek optimum sonuç elde edilmeye çalışılır. Yapay arı kolonisi algoritmasının işlem süreci dört aşamalı bir döngü gerektirir: Başlangıç aşaması, işçi arı aşaması, gözcü arı aşaması ve izci arı aşaması.

4.2.2 Başlangıç aşaması

Besin kaynaklarının sayısı göz önüne alınarak başlangıç arı popülasyonu oluşturulur. Herbir çözüm x_i ($i=1,2,3,...,SN$) SN : Besin kaynağı sayısı olacak şekilde gösterilir. D : Optimizasyon problemindeki değişken sayısı olmak üzere her bir besin kaynağı Denklem 4.3'teki gibi gösterilir:

$$x_i^j = x_{\min}^j + rand(0,1)(x_{\max}^j - x_{\min}^j), \forall j = 0,1,2,...,D \quad (4.3)$$

Yukarıdaki denklemde $x_{\min}^j$ ve $x_{\max}^j$ nin j .ci yönündeki sınırlarıdır.

4.2.3 İşçi arı aşaması

Bu aşamada, kullanılan arılar, bireysel deneyimlerinin bilgisine ve yeni çözümün uygunluk değerine (besin kaynağı miktarı) dayanarak mevcut çözümü değiştirmektedir. Yeni besin kaynağının zindelik değeri eski besin kaynağından daha yüksekse, işçi arı yenisini onun pozisyonuna getirir ve eskisini atar. Adayın j .nci boyutu için bu aşamada pozisyon güncelleme Denklem 4.4’de gösterilmektedir:

$$v_{ij} = x_{ij} + \phi_{ij}(x_{ij} - x_{kj}) \quad (4.4)$$

Denklem 4.4’ de k , i ’ nin komşu elemanını ve ϕ : x_{ij} etrafında üretilen komşu çözümleri kontrol etmek için -1 ile 1 arasında üretilen rastgele bir sayıyı göstermektedir. v_{ij} : x_{ij} için yeni bir çözümdür. Yeni besin kaynağının seçilme değeri Denklem 4.5 kullanılarak bulunur:

$$seç_değ = \begin{cases} \frac{1}{1 + f_i}, & f_i \geq 0, \\ 1 + |f_i|, & f_i < 0, \end{cases} \quad (4.5)$$

f_i : Her bir besin kaynağıyla ilişkili amaç fonksiyonu

$seç_değ$: Besin kaynağının seçilebilirlik değeridir.

Orijinal ve yeni besin kaynakları $seç_değ$ değerine göre seçilir. Hesaplanan seçilme değerine göre besin kaynağının seçilebilme olasılığı Denklem 4.6’ ya göre hesaplanır:

$$p_i = \frac{seç_değ_i}{\sum_{j=1}^N seç_değ_j} \quad (4.6)$$

$seç_değ$: i .nci çözümün seçilebilme değeri

p_i : i .nci çözümün seçilebilme ihtimalidir.

4.2.4 Gözcü arı aşaması

Kullanılan arılar, ileri işlemler için gıda kaynakları hakkındaki bilgileri gözlemleyen arılarla paylaşır. Her bir gözcü arı, kendisiyle ilişkili olasılığa göre yararlanmak için bir gıda kaynağı seçer (yani daha fazla uygunluk, yüksek olasılık). Seçilen gıda kaynakları, Denklem 4.4 kullanılarak daha iyi çözümler için kullanılır ve seçilme değerleri Denklem 4.5 kullanılarak hesaplanır.

4.2.5 İzci arı aşaması

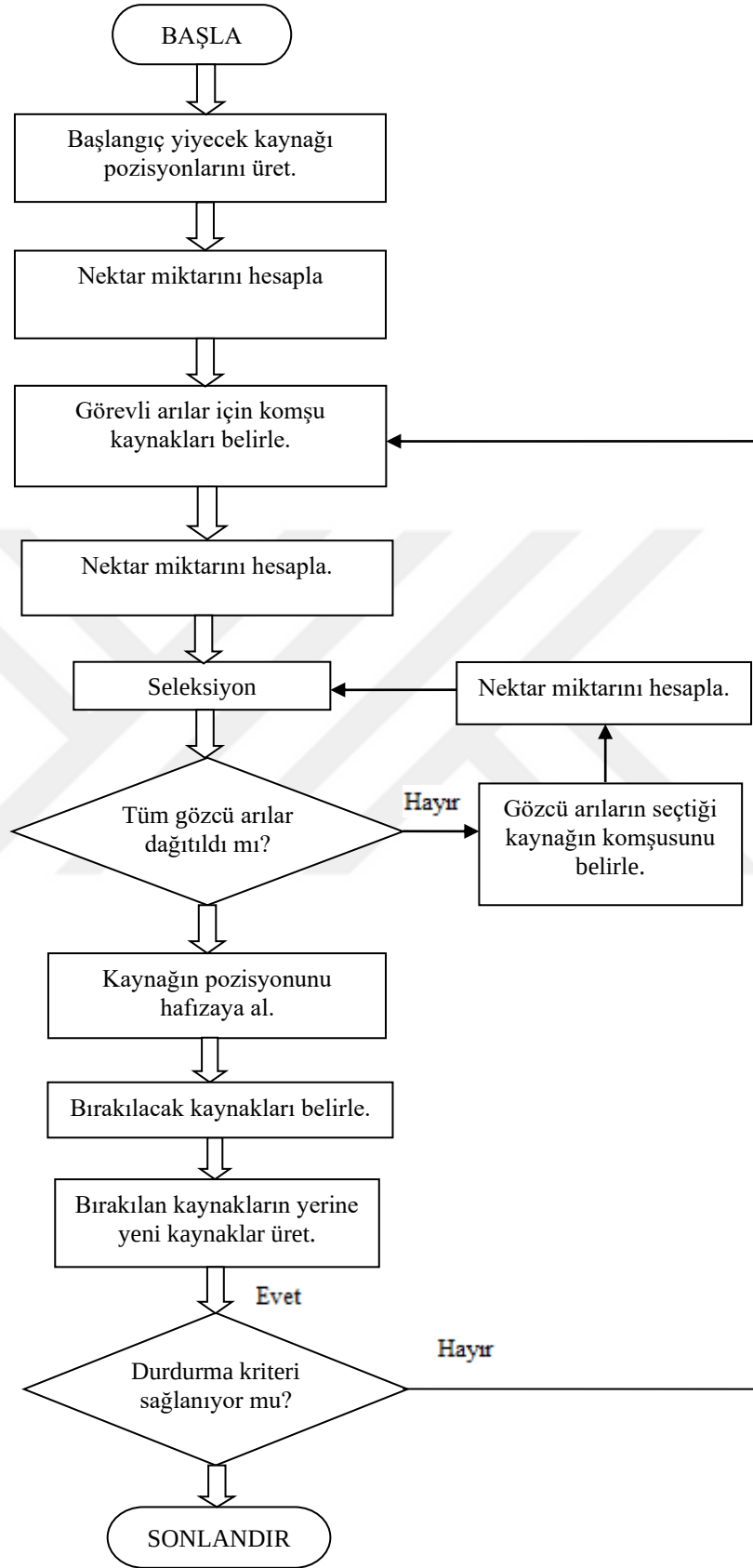
Bir gıda kaynağı önceden tanımlanmış bir sınıra kadar daha iyi çözümler üretmezse, gıda kaynağı terk edilir ve karşılık gelen arı bir izci arı olur. Denklem 4.3 kullanılarak arama alanında rastgele yeni bir gıda kaynağı oluşturulur. Kullanılanlar, izleyenler, izci arısı aşamaları ve olasılık seçim aşaması, sonlandırma kriteri yerine getirilinceye kadar yürütülür. En iyi gıda kaynağı çözümü, çıktı olarak elde edilir.

4.2.6 Yapay arı kolonisi algoritması yardımıyla optimum yük akışı

Algoritmayı başlatabilmek için uygulanacak bara sistemindeki jeneratörlere ilk olarak başlangıç sınır değerleri atanır. Sonraki süreçte komşu jeneratörlere farklı başlangıç değerleri atanır. Yapay arı kolonisi yardımıyla optimum güç akışı analizi adımları aşağıdaki gibidir:

1. Adım: Algoritmadaki mevcut n adet gözcü arının başlangıç popülasyonunu rastgele üret.
2. Adım: Bara sisteminin güç akış analizini elde et ve başlangıç popülasyonunun algoritma için uygun olan değerini seç.
3. Adım: Jeneratör komşulukları için bir önceki adımda elde edilen uygun değerler içerisinde m adet en iyi sonucu seç.
4. Adım: Bir önceki adımda seçilen en iyi m adet çözümü seç.
5. Adım: Komşuluk sınırları içerisinde en iyi çözümün boyutuna karar ver.
6. Adım: Elde edilen çözümler içerisinde en iyisini seç.
7. Adım: Optimum sonuca ya da daha önce belirlenen iterasyon sayısına ulaşıldığında algoritmayı durdur; aksi durumda iterasyon sayısını arttırarak programı çalıştırmaya devam et.

Şekil 4.1' de yapay arı kolonisi algoritması akış şeması görülmektedir.



Şekil 4.1: Yapay arı kolonisi algoritması akış şeması.

4.3 Ateş Böceği Algoritması

4.3.1 Giriş

Ateş böcekleri, ateş böcekgiller familyasını oluşturan, geceleri uçarken yanıp sönen ışıkları ile bilinen, özellikle sıcak ve ılıman bölgelerde yaşayan, yaklaşık 1900 farklı türe sahip böceklerdir. Bu böcekler, saydam bir kütikül tabakasının arkasında ve vücut yüzeyine yakın bulunan karın bölgesindeki fotojenik hücreler sayesinde ışık üretme yeteneğine sahiptirler. Ateş böceklerinin oluşturduğu ışık sinyalleri karşı cinse kur yapma, avını cezpt etme, sosyal ortama uyum sağlama ve avcıya karşı bir uyarı işareti olarak işlev gördüğü bilinmektedir. Ateş böceği algoritması Xin-She Yang [49] tarafından ateş böceklerinin ışıldama davranışı temel alınarak geliştirilmiştir. Algoritmada temel alınan ışıldama karakteristiği şu üç kuralla birlikte özetlenmektedir:

- a) Ateş böcekleri için cinsiyet farklı gözetilmemektedir. Bu nedenle bir ateş böceği diğer ateş böceklerini, cinsiyete bakılmaksızın etkileyebilecektir.
- b) Etkileyicilik, ateş böceğinin parlaklık derecesine bağlıdır. Daha az parlaklığa sahip ateş böceği, daha çok parlaklığa sahip olan ateş böceğine doğru hareket edecektir.
- c) Eğer kendisinden daha parlak bir ateş böceği yoksa rastgele bir şekilde hareket edecektir.

Bir ateş böceğinin parlaklığı, probleme ait amaç fonksiyonuna ve problemin türüne göre belirlenir.

4.3.2 Popülasyonu başlatma

Başlangıçta tüm ateş böcekleri S arama uzayında d boyutlu problem için rastgele bir şekilde veya probleme uygun olarak tasarlanmış bir yerleştirme stratejisiyle oluşturulur. Oluşturulan m adet ateş böceği her bir i ateş böceğine ait x_i çözümünün uygunluk değerini veren optimizasyon problemi fonksiyonu belirlenir.

$$f(x^*) = \min_{x \in S} f(x) \quad (4.7)$$

Problemin minimizasyon problemi olarak temel alındığı düşünülürse hedef, $f(x)$ amaç fonksiyonunu minimize eden x^* çözümünü bulmaktır. Daha önce belirtildiği gibi her bir ateş böceği çözümünün amaç fonksiyonuna uygulanması sonucunda elde edilen maliyet değeri, o ateş böceğinin parlaklığını ifade etmektedir.

4.3.3 Etkileşimi belirleme

Her bir ateş böceği, diğer ateş böceklerini ne derece etkilediğini gösteren kendine özgü ve farklı bir β etkinliğine sahiptir. Ateş böceği i 'nin ateş böceği j 'den etkilenip etkilenmediğini belirlemek için öncelikle parlaklığının j 'ye göre daha düşük olduğunun belirlenmesi gerekmektedir ve çözümlerin maliyet değerleri kıyaslanır. Parlaklığının daha düşük olduğunun belirlenmesi durumu, x_i çözümünün x_j çözümünden etkilenen konumda olduğunu gösterir ve β sini belirlemek amacıyla i 'nin j 'ye olan $r_{i,j} = d(x_i, x_j)$ uzaklığının etkisiyle monoton bir şekilde azalan fonksiyon (üstel fonksiyon) seçilmelidir. Bu durum Denklem 4.8'de görülmektedir.

$$r_{i,j} = \|x_i - x_j\| = \sqrt{\sum_{k=1}^d (x_{i,k} - x_{j,k})^2} \quad (4.8)$$

$$\beta = \beta_0 \cdot e^{-\gamma \cdot r_{i,j}} \quad (4.9)$$

Denklem 4.9'da görülen β_0 parametresi $r_{i,j} = 0$ olması durumundaki çekicilik parametresi ve γ parametresi, ışık soğurma katsayısıdır. Genel olarak β_0 parametresi [0 1] aralığında bir değer olarak seçilmektedir. $\gamma = 0$ seçmek sabit bir çekicilik değerine, $\gamma = \infty$ olarak seçmek sıfıra yakın bir çekiciliğe karşılık gelir. γ Parametresinin değeri probleme uygun olarak [0 10] aralığında seçilir. Optimize edilen arama uzayının karakteristik uzunluğu da parametre içerisine dahil edilirse γ parametresi Denklem 4.10 ve 4.11'e göre hesaplanır.

$$\gamma = \frac{\gamma_0}{r_{maks}} \quad (4.10)$$

$$r_{maks} = maksd(x_i, x_j), \forall x_i, x_j \in S \quad (4.11)$$

Denklem 4.10 ve 4.11'de görülen γ_0 parametresi [0 1] aralığında sabit bir sayıdır.

4.3.4 Konum güncelleme

k boyutlu bir i ateş böceğinin j ateş böceğinden etkilenmesi halinde β parametresinin belirlenmesinin ardından konumu Denklem 4.12'ye göre güncellenir:

$$x_{i,k} = (1 - \beta).x_{i,k} + \beta.x_{j,k} + u_{i,k} \quad (4.12)$$

Denklem 4.12’de görülen $u_{i,k}$, i ateş böceğinin konumuna rastsallık katar ve $[0 \ 1]$ aralığında rastgele üretilen bir $rand1$ değeri ve $[0 \ 1]$ aralığında belirlenen α parametresine bağlı olarak Denklem 4.13’teki gibi ifade edilir:

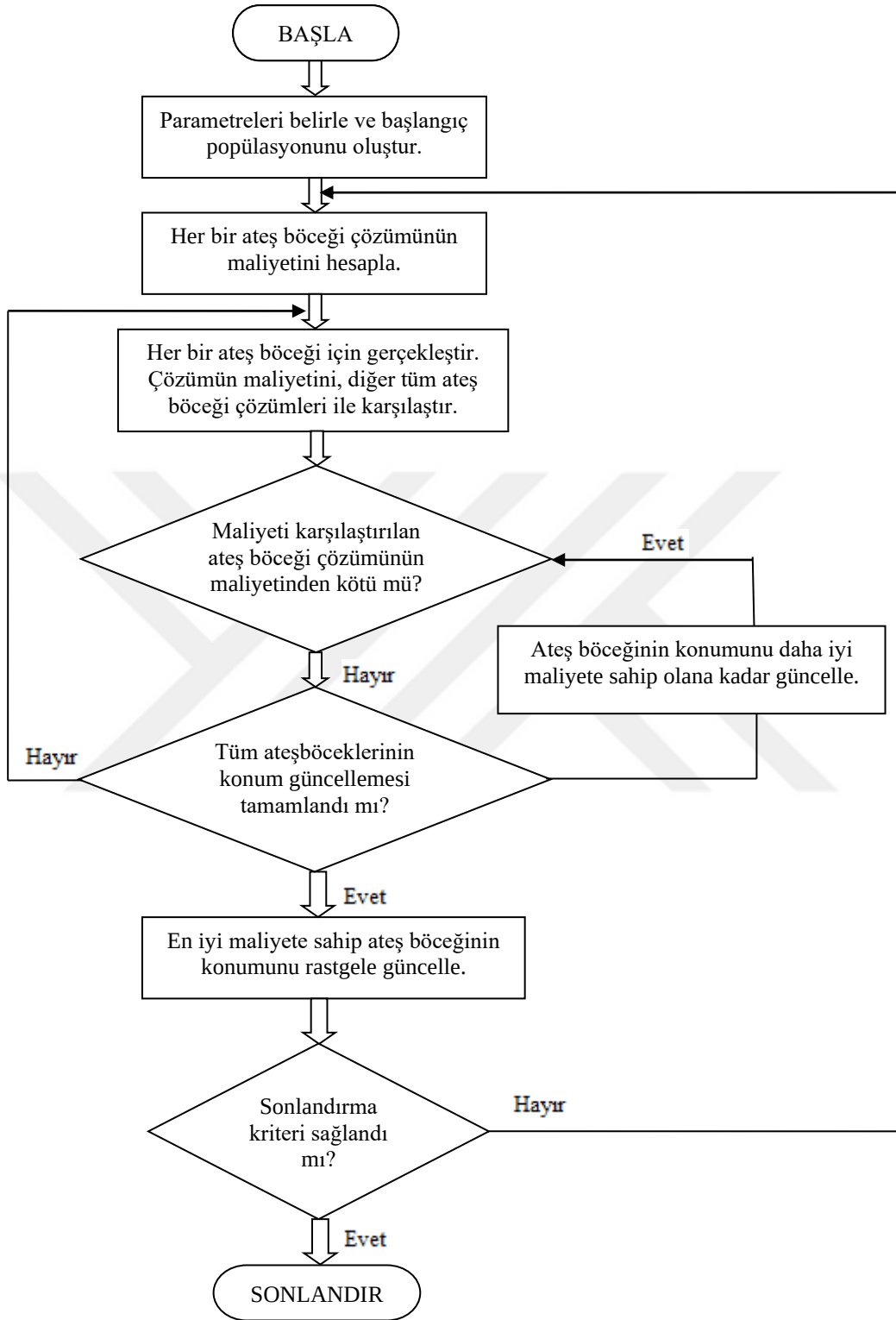
$$u_{i,k} = \alpha.(rand1 - \frac{1}{2}) \quad (4.13)$$

En iyi maliyet değerine sahip olan (en parlak) ateş böceği arama uzayında Denklem 4.14’e göre hareket edecektir:

$$x_{i,maks,k} = x_{i,maks,k} + u_{i,maks,k} \quad k=12 \dots d \quad (4.14)$$

$$u_{i,maks,k} = \alpha.(rand1 - \frac{1}{2}) \quad (4.15)$$

Ateş böceği algoritmasının akış şeması Şekil 4.2’de görülmektedir.



Şekil 4.2: Ateş böceği algoritmasının akış şeması.

4.3.5 Ateş böceği algoritması yardımıyla optimum yük akışı

Ateş böceği algoritması yardımıyla optimum yük akışının adımları aşağıdaki gibidir:

1. Adım: Çözümü yapılacak sistemin giriş verilerini programa gir.
2. Adım: Ateş böceğinin başlangıç popülasyonunu elde et. $x_i (i = 1, 2, \dots, n)$
3. Adım: Maliyet fonksiyonu ($F_{maliyet}$) belirle.
4. Adım: $F(x_i)$ fonksiyonu yardımıyla x_i ' deki I_i ışık yoğunluğunu belirle.
5. Adım: Emilme katsayısı (γ) değerini belirle.
6. Adım: En iyi maliyet değerine sahip ateş böceğini belirle.
7. Adım: Optimum sonuca ya da daha önce belirlenen iterasyon sayısına ulaşıldığında algoritmayı durdur; aksi durumda iterasyon sayısını arttırarak programı çalıştırmaya devam et.

4.4 Guguk Kuşu Algoritması

4.4.1 Giriş

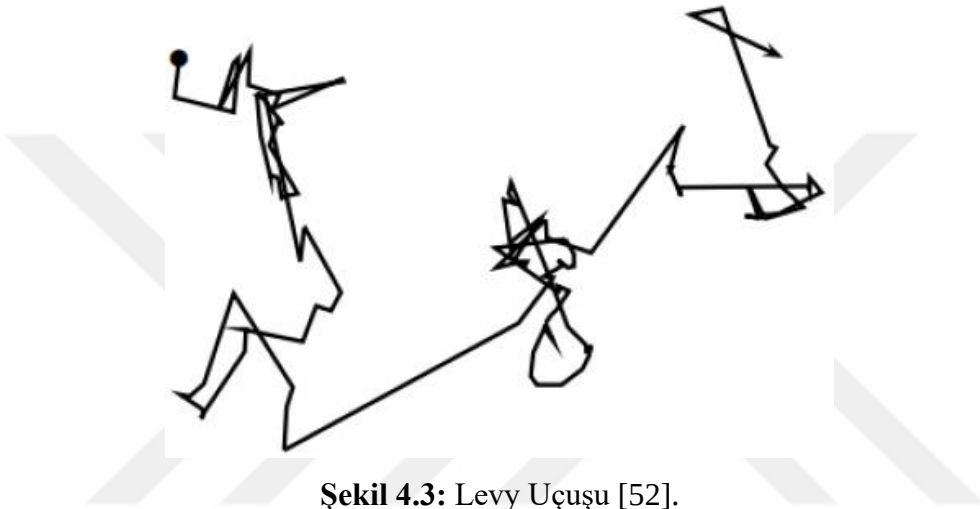
Guguk kuşları, gugukgiller kuş ailesine mensup, gagaları hafif eğri, kanatları sivri ve uzun, kuyrukları uzun olan kuş türlerindendir. Guguk kuşları seslerinin güzelliği ile bilinir ve özellikle saldırgan çoğalma stratejisi sayesinde hayatta kalmayı başarırlar. Türlerinin çoğu kuluçka asalağıdır. Dünya üzerinde 130 civarı türü olduğu bilinmektedir. Guguk kuşlarını diğer kuşlardan ayıran ve optimizasyon algoritmalarına konu olmasına sebep; saldırgan çoğalma stratejileridir. Guguk kuşu algoritması Xin-She Yang ve Suash Deb tarafından 2009 yılında geliştirilen bir algoritmadır. Algoritmanın temeli; bazı guguk kuşu türlerinin Levy uçuşu (Levy flights) adı verilen rastgele uçuşlarına ve kuluçka parazitliğine dayanır [50].

Guguk kuşlarının en belirgin özelliği; yumurtalarını başka kuşların yuvalarına bırakmalarıdır. Dişi guguk kuşu, yumurtalarını bırakacağı yuvanın dişi kuşunun yumurtlamasını bekler ve kuluçkaya yatmadan önce fırsatını kollayarak yuvaya yumurtasını bırakır. Bazı guguk kuşu türleri, yumurtasını bırakacağı yuvadaki yumurtalardan birisini alıp kendi yumurtasını bırakarak yavrusunun yumurtadan çıkma olasılığını artırır. Eğer yuvanın asıl sahibi kendisine ait olmayan bir yumurta tespit ederse; ya başka bir yerde yuva yapar ya da yuvasına konulmuş yumurtayı yuvadan atar [51]. Eğer yuva sahibi yabancı yumurtayı fark edemezse guguk kuşunun yumurtasını da kendi yumurtası gibi zannederek üzerine oturur ve kuluçka parazitliği durumu ortaya çıkar. Guguk kuşu türlerinden “Taparak”, yumurtasını bırakacağı yabancı kuş türünü

şekil ve renk olarak taklit eder ve yumurtasını yuva sahibi kuş türünün yumurtasına benzetir. Böylece yumurtasının yabancı yuvada kalabilme olasılığını da arttırmış olur.

4.4.2 Levy uçuşu

Bazı hayvanların yiyecek aramak için izledikleri stratejilerden birisi de Levy uçuşu'dur. Levy uçuşu fizikte sıklıkla kullanılan bir matematiksel kavramdır. Levy uçuşu başlatan bir kuş ilk olarak harekete başladığı bölgede küçük mesafeli uçuşlar yaparak yiyecek arar. Bu hareketler sonucunda Şekil 4.3' deki gibi bir desen ortaya çıkar.



Şekil 4.3: Levy Uçuşu [52].

4.4.3 Guguk kuşu algoritması uygulama aşamaları

Guguk kuşu algoritması oluşturulurken temel olarak aşağıdaki üç kural uygulanır [53]:

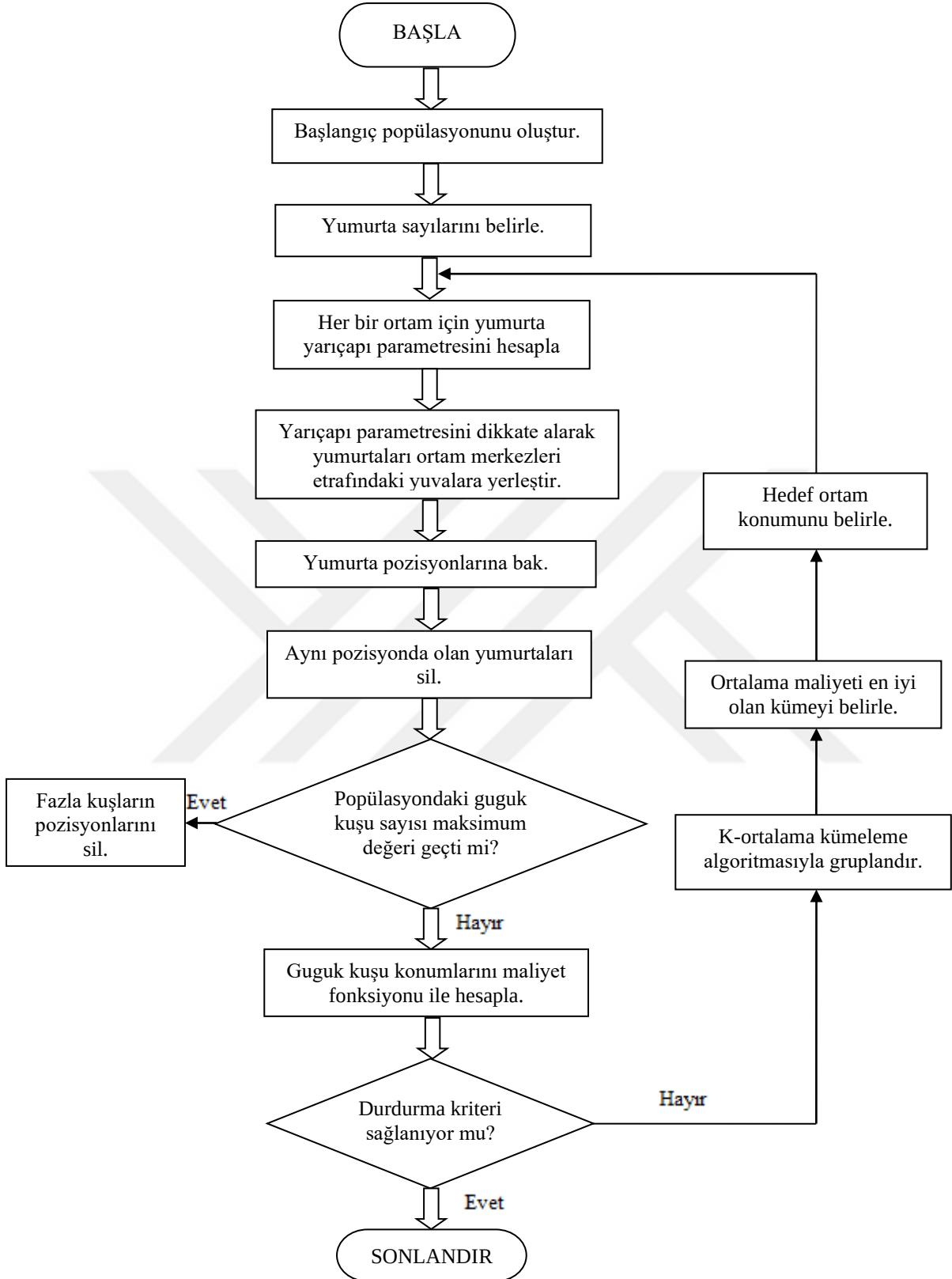
- Her guguk kuşu sadece bir yumurtayı rastgele seçtiği yabancı bir kuşun yuvasına bırakır.
- Yuvada kaliteli yumurta var ise gelecek nesillere aktarılır. Yuvaların uygunluğu optimizasyon problemi için belirlenen amaç fonksiyonları kullanılarak belirlenir.
- Mevcut yuva sayısı sabit olup guguk kuşu yumurtasının yuva sahibi kuş tarafından fark edilmesi $p_a \in [0,1]$ olasılığı ile gerçekleşecektir. Eğer guguk kuşu yumurtası fark edilirse; ya yumurta yuvadan atılır ya da yuva terk edilerek yeni bir yuva inşa edilir.

Levy uçuşu ile algoritmada yeni çözümler $x^{(t+1)}$ üretmek için Denklem 4.16 kullanılır.

$$x_i^{(t+1)} = x_i^{(t)} + \alpha \oplus Levy(\lambda) \quad (4.16)$$

Denklem 4.16'daki $\alpha > 0$ olmak şartıyla guguk kuşunun adım büyüklüğünü kontrol etmek için kullanılan bir parametredir. Çoğu durumda $\alpha = 1$ olarak alınabilmektedir. Levy uçuşuyla yeni çözümlerin bazıları en iyi çözüme yakın yerlerde üretilir. Bu durumda lokal aramayı hızlandıracaktır. Fakat elde edilen yeni çözümlerin büyük bir kısmı en iyi çözümünden yeterince uzaktaki yerlerde üretilir. Böylece yerel minimuma takılma engellenmiş olur. Guguk kuşu algoritmasının akış şeması Şekil 4.4'de görülmektedir.





Şekil 4.4: Guguk kuşu algoritması akış şeması.

4.5 Yapay Bağışıklık Sistemleri

4.5.1 Giriş

Biyolojik bağışıklık sistemi, vücudu yabancı patojenlerden koruyan sağlam, karmaşık, uyarlanabilir bir savunma sistemidir [54]. Vücuttaki tüm hücreleri öz veya öz olmayan hücreler olarak sınıflandırır. Öz olmayan hücreler, uygun bir savunma mekanizması tipini oluşturabilmek için ayrıca sınıflandırılır. Bağışıklık sisteminin iki tür yanıtı vardır:

1. **Doğuştan gelen bağışıklık sistemi:** Spesifik olmayan ve değişmez bir savunma mekanizmasıdır ve bazı istilacı organizmaları tespit edip yok eder.
2. **Uyarlanabilir bağışıklık sistemi:** Daha önce bilinmeyen yabancı hücrelere yanıt verir ve vücutta uzun süre kalabilen bir tepki oluşturur. Doğuştan gelen bağışıklık tepkisinin aksine antijene özgüdür ve aynı antijene maruz kaldığında daha etkili olur.

Bu biyolojik bilgi işleme sistemi, özellikle bilgisayar, elektrik ve elektronik alanındaki çalışmaların dikkatini çekmiştir. Böylece yapay bağışıklık sistemleri olarak bilinen, bağışıklık sisteminden esinlenen yeni bir hesaplamalı zeka tekniği ortaya çıkmıştır. Gerçek dünyadaki bilim ve mühendislik problemlerinin çözümü için bağışıklık sisteminden çeşitli kavramlar çıkarılmış ve uygulanmıştır. Yapay bağışıklık sistemi gelişimi temelde iki hedef alana sahiptir:

1. Bağışıklık sisteminden esinlenen kavramların benimsenmesiyle mühendislik problemlerine çözüm sağlanması,
2. Bağışıklık sistemi teorilerini incelemek için modeller oluşturup simülasyonlar yapılması [55].

Bununla birlikte biyolojik bağışıklık sisteminin diğer bilinmeyen özellikleri, bilgisayar bilimcilerini ve mühendislerini yeni modeller ve problem çözme yöntemleri üzerindeki çalışmaları geliştirmeye motive etmektedir. Mühendislik problemlerine bağışıklık sisteminden ilham alan çözümler üretme çalışmaları, özellikle bağışıklık sistemindeki mühendislik açısından çekici olan özelliklerin tanımlanmasından kaynaklanır. Yapay bağışıklık sistemi alanı, genel olarak bağışıklık sistemini anlamak için modelleme ve simülasyon tekniklerini de kapsar [56].

4.5.2 Bağışıklık sistemi

İmmünoloji, bağışıklık sistemi ve çalışmasının vücut üzerindeki etkileri ile ilgilenir. Vücuttaki hücreleri patojenlerden (bakteri, virüs ve parazit gibi zararlı mikroorganizmalar) korumak için gelişen bir savunma sistemidir [54]. Bağışıklık sisteminin ve süreçlerinin birçok ayrıntısı henüz bilinmemekle birlikte; bağışıklık sisteminin hem paralel hem de çok katmanlı savunmayı kullandığı iyi bilinmektedir. Sistemin temel görevi; vücuttaki hücrelerin hepsini tanımak ve onları kendi veya kendi olmayan olarak sınıflandırmaktır. Kendiliğinden olmayan hücreler, uygun bir savunma mekanizması tipini oluşturmak için sınıflandırılır. Bağışıklık sistemine ayrıntılı bir bakış [57]' de verilmiştir. Bağışıklık sisteminin iki tür yanıtı vardır: Doğuştan gelen bağışıklık ve uyarlanabilir (sonradan edinilmiş) bağışıklık. Doğal bağışıklık özel olmayan bir savunma mekanizmasıdır ve belirli patojen örneklerine özgü olmayan, ancak genel patojen sınıflarına karşı hareket eden bir savunma mekanizmasıdır. Türün genleri içinde kodlanırlar ve bireyin yaşamı boyunca uyum sağlamazlar. Aksine, uyarlamalı (adaptif) bağışıklık mekanizmaları, bağışıklık sisteminin daha önce görülmemiş patojenlere maruz kaldığında bu patojenlere adapte olmasını sağlar. Daha sonra aynı patojenlere maruz kaldığında savunma mekanizması daha sağlam olacaktır. Bu, bireyin yaşamı boyunca işleyen bir öğrenme mekanizması ile elde edilir. Bağışıklık sisteminin uyarlanabilir ve doğuştan mekanizmaları, vücudu patojenlere karşı kapsamlı bir savunma mekanizması sağlamak için etkileşime girecektir.

4.5.2.1 İnsan bağışıklık sistemi

İnsan vücudunda bulunan B hücreleri vücudu savunmaya başlamadan önce; ilk olarak vücuttaki düşmanları diğer hücrelerden ayırt etmeyi öğrenir. B hücrelerinin ürettiği antikorlar düşmanları dışarıdan herhangi bir yardım almadan doğrudan şekillerine bakarak tanıyabilirler. Antikor yüzeylerindeki reseptör antijeni karşılar ve antijenin birkaç küçük parçasına bağlanır. Böylece reseptörler yardımıyla B hücreleri bakteriler gibi antijenleri kolaylıkla tanıyabilmektedir [58].

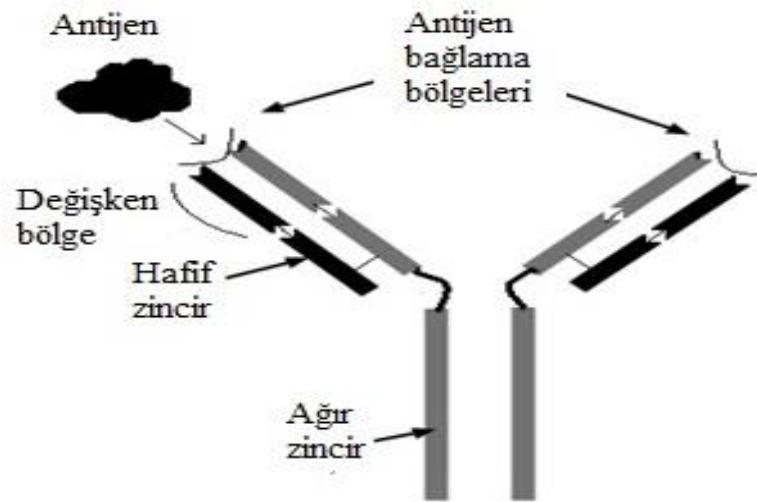
4.5.2.2 B hücrelerinin işlevi

B hücreleri vücudu her zaman korumakla görevlidir. Bu hücreler dışarıdan bir saldırıyla karşılaştıklarında hızlı bir şekilde bölünerek antikor üretmeye başlar. Üretilen antikorlar mikroplara tutunur ve onları yabancı bir düşman hücresi olarak işaretler. İşaretlenen bu düşman hücreleri fagositler ve T hücrelerinin müdahalesi sonucu vücuttan

dışarı atılır. B hücreleri tarafından üretilen milyonlarca antikorlar düşmanları etkisiz hale getirmekle kalmaz; aynı zamanda düşmanları öldürücü hücre olarak da işaretler. İnsan vücuduna dışarıdan yapılan bu saldırılardaki en önemli konu; düşmanları tespit etmek ve yok etmektir. Vücutta bulunan az sayıdaki genler B hücreleri tarafından antikor üretmek için kullanılır. Üretilen antikor miktarı önemli problemlerden birisidir. İnsan vücudunda üretilen antikor sayısına göre daha az gen bulunmaktadır. Bu olumsuz duruma rağmen yarım saatte yaklaşık 1 milyon antikor üretilmektedir. B hücrelerinin antikor üretimi yapabilmesi için diğer genlerle kombinasyonlar yapmak zorundadır.

4.5.2.3 Antikorlar

İnsan vücuduna giren zararlı hücrelerle mücadele etmek için B hücreleri tarafından üretilen, yapısında protein olan koruyucu silahlardır. İki temel görevi vardır: Birincisi; antijen olarak da bilinen zararlı hücrelere kendini bağlamak, İkincisi; antijenin biyolojik yapısını parçalayıp onun yok olmasını sağlamaktır. İnsan vücudunun önemli özelliklerinden birisi de; vücuda saldıran her düşman için uyumlu bir antikor üretebilmesidir. Bu açıdan bakıldığında antikorların tek tip olmadığı sonucuna varılır. Vücuda dışarıdan yapılan saldırılarda düşmanın yapısına göre, onun üstesinden gelebilecek kadar güçlü antikorlar üretilir. Vücudumuzda oluşacak her bir hastalık için farklı yapıda antikor üretilir. Bu durum anahtar-kilit sistemine benzer. İnsan vücudundaki hücreler barındırdığı yaklaşık 100000 adet farklı tipteki geni farklı antikorlar üretebilmek için değişik kombinasyonlarda birleştirir. Farklı genlerdeki bilgiler birleştirilerek uygun antikor üretilir. Bir B hücresi kendine ait spesifik antikorun kopyalarını hücre zarının dış yüzeyine ekler. Antikorlar iki hafif ve iki ağır aminoasit zincirinden oluşur ve Şekil 4.5’de görüldüğü gibi Y şeklinde bir arada tutunur.



Şekil 4.5: Antikor molekülü [59].

4.5.3 Yapay bağışıklık

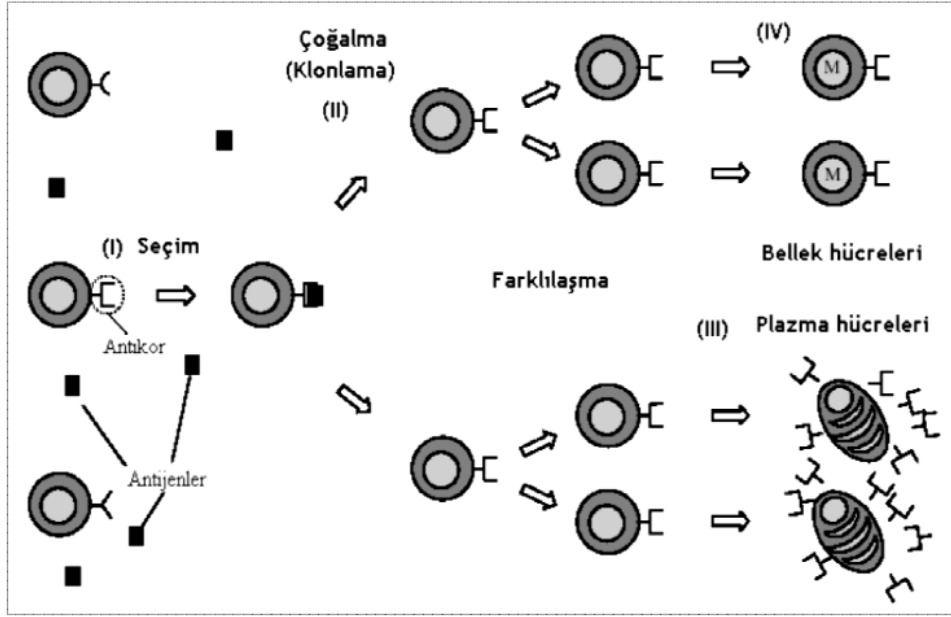
Yapay bağışıklık sistemi, immünoloji, bilgisayar bilimi ve mühendislik disiplinleri arasında köprü kuran bir araştırma alanıdır [60-62]. Bu bağlamda oluşturulan algoritmalar, bağışıklık sistemini hesapsal olarak taklit eder. Evrimsel algoritmalar arasında bulunan yapay bağışıklık sistemleri, son yıllarda ortaya çıkan biyo-mantıksal olarak ilham alan bir hesaplama paradigmasıdır. Yapay bağışıklık sistemlerinde işlemler B hücreleri için [63] klonal seçim algoritması kullanılmıştır. Özellikle yapay bağışıklık sistemleri optimizasyon [64], robotik sistemler, makine öğrenimi, arıza tespiti [65], programlama ve veri analizi gibi alanlarda uygulanmıştır. Tez çalışmasında B hücrelerinin davranışları ele alındığından klonal seçim algoritmasından bahsedilecektir.

4.5.4 Klonal seçim algoritması

4.5.4.1 Klonal seçim prensibi

Vücuda dışarıdan herhangi bir yabancı madde (patojen) girdikten sonra B hücreleri tarafından antikor üretilmeye başlanır. B hücrelerinin antikor üretebilmesi için T hücreleri tarafından uyarılması gerekmektedir. Uyarılma işleminden sonra aşağıdaki durumlar meydana gelir:

1. B hücreleri uyarıldıktan sonra antikor salgılayan hücrelere dönüşür ve bu hücrelere ‘plazma hücreleri’ denir.
2. B hücreleri mitoz bölünme ile bölünerek yeni kopya hücreler oluşur.
3. Antijene karşı duyarlı olmayan kopyalar, duyarlı olan kopyalara göre daha az çoğalır.
4. Daha önce kopyalanan hücrelerin yabancı maddeye karşı daha uyumlu olabilmesi için hipermutasyon işlemine tabi tutulur.
5. B hücreleri bellek hücrelerine de dönüşebilir. Vücudun bağışıklık sistemi boyunca dolaşan bellek hücreleri, benzer bir antijenle karşılaştığında, bu antijene yüksek uyum sağlayabilen antikor üretebilirler.
6. Antijeni daha az tanıyan hücreler ölürler ve yerlerine yeni hücreler görev alır.
7. Antijeni en iyi tanıyan ve ona en çok uyum sağlayabilen hücrelerin yaşam döngüsü daha uzun olabildiği için, bağışıklık cevabı en uygun antikoru üretebilen bireylerin çoğaltılmasını sağlamış olur.
8. Yukarıda bahsedilen işlemlerin hepsi Şekil 4.6’da görülmektedir.



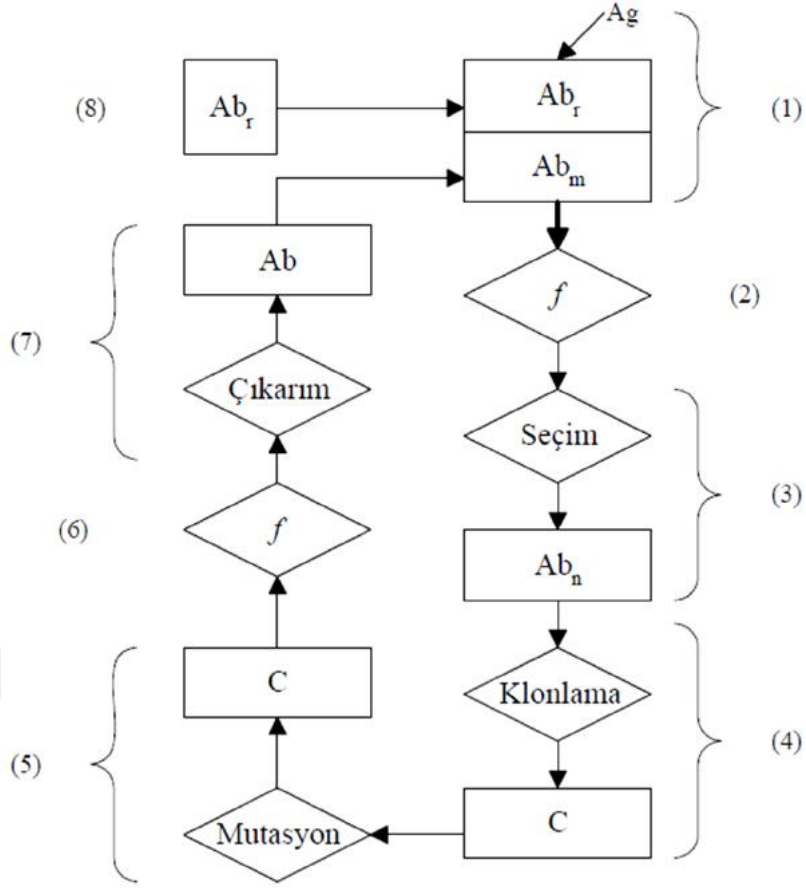
Şekil 4.6: Klonal seçim prensibi [66].

4.5.4.2 Klonal seçim algoritması

Klonal seçim algoritması, doğal bağışıklık sisteminden faydalanarak vücuda dışarıdan bir yabancı madde girdiğinde bağışıklık sisteminin verdiği cevabın temel özelliklerini kullanan bir algoritmadır. Bu cevaba göre sadece antijenleri tanıyan hücreler çoğalmaktadır. Seçilen hücreler benzerlik prensibi yardımıyla olgunlaşma işlemine tabi tutulur. Böylece seçilmiş hücrelerin antijene benzerliği geliştirilir [67]. Bağışıklık sisteminde algoritmanın ilgilendiği temel olaylar aşağıdaki gibidir [68]:

- Bellek hücrelerinin saklanması
- Antijen tarafından en fazla uyarılmış bireyin seçimi ve klonlama işlemine tabi tutulması
- Antijen tarafından uyarılmamış hücrelerin ölümü
- Benzerliğin artırılması için hücrelerin mutasyona uğratılması ve tekrar seçimi
- Farklılaşmanın üretilmesi ve farklı hücrelerin popülasyona katılması
- Hücre benzerliği ile orantılı olarak hipermutasyon işleminin uygulanması

Klonal seçim algoritmasının işlem adımları Şekil 4.7’de gösterilmiştir.



Şekil 4.7: Klonal seçim algoritması işlem adımları [69].

1. Rastgele üretilmiş B hücreleri (Ab_r) ve hafıza hücrelerinin (Ab_m) birleşerek, çözüm popülasyonu (Ab) oluşturulur.
2. Popülasyonun antijenle (Ag) uyarılma seviyesi hesaplanır. Uyarılma seviyesi probleme uygunluk fonksiyonundan geçirilerek eşik değeri hesaplanır.
3. En çok uyarılan hücreler seçilir.
4. Bu hücreler klonlanmaya tabi tutulur.

$$Nc = \sum_{i=1}^n \text{round} \left(\frac{N}{i} \right) \quad (4.17)$$

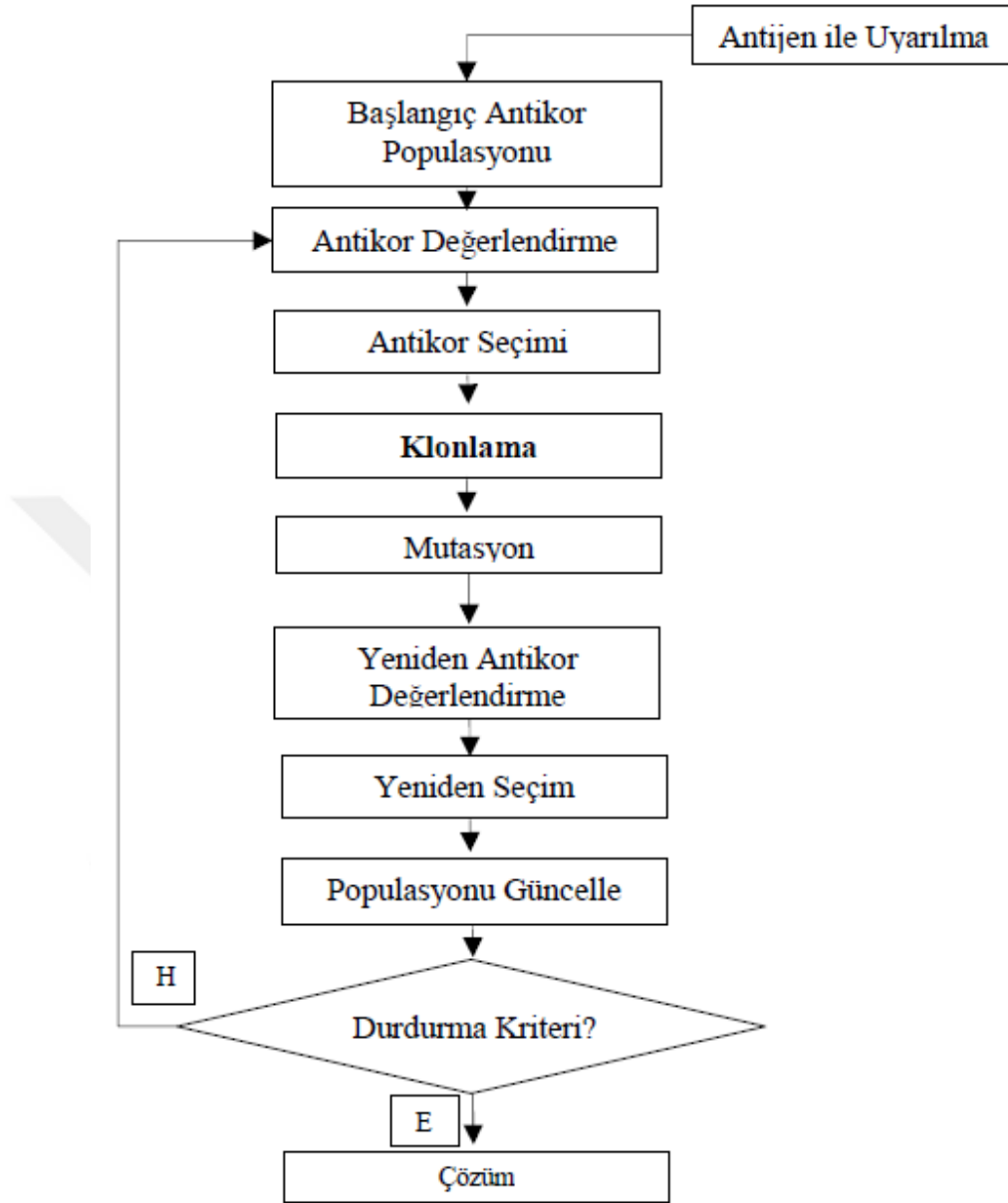
Nc : Her bir Ag 'den üretilen klon sayısı

N : Toplam Ab sayısı

n : Seçilen antikor sayısı

5. Klonlanan hücreler mutasyona tabi tutulur.
6. Mutasyona uğrayan hücreler problemin uygunluğuna göre çözüm ağına katılır.
7. Uygunluk fonksiyonundan geçmeyen hücreler popülasyondan atılır.

Şekil 4.8’ de klonal seçim algoritmasının akış şeması gösterilmiştir.



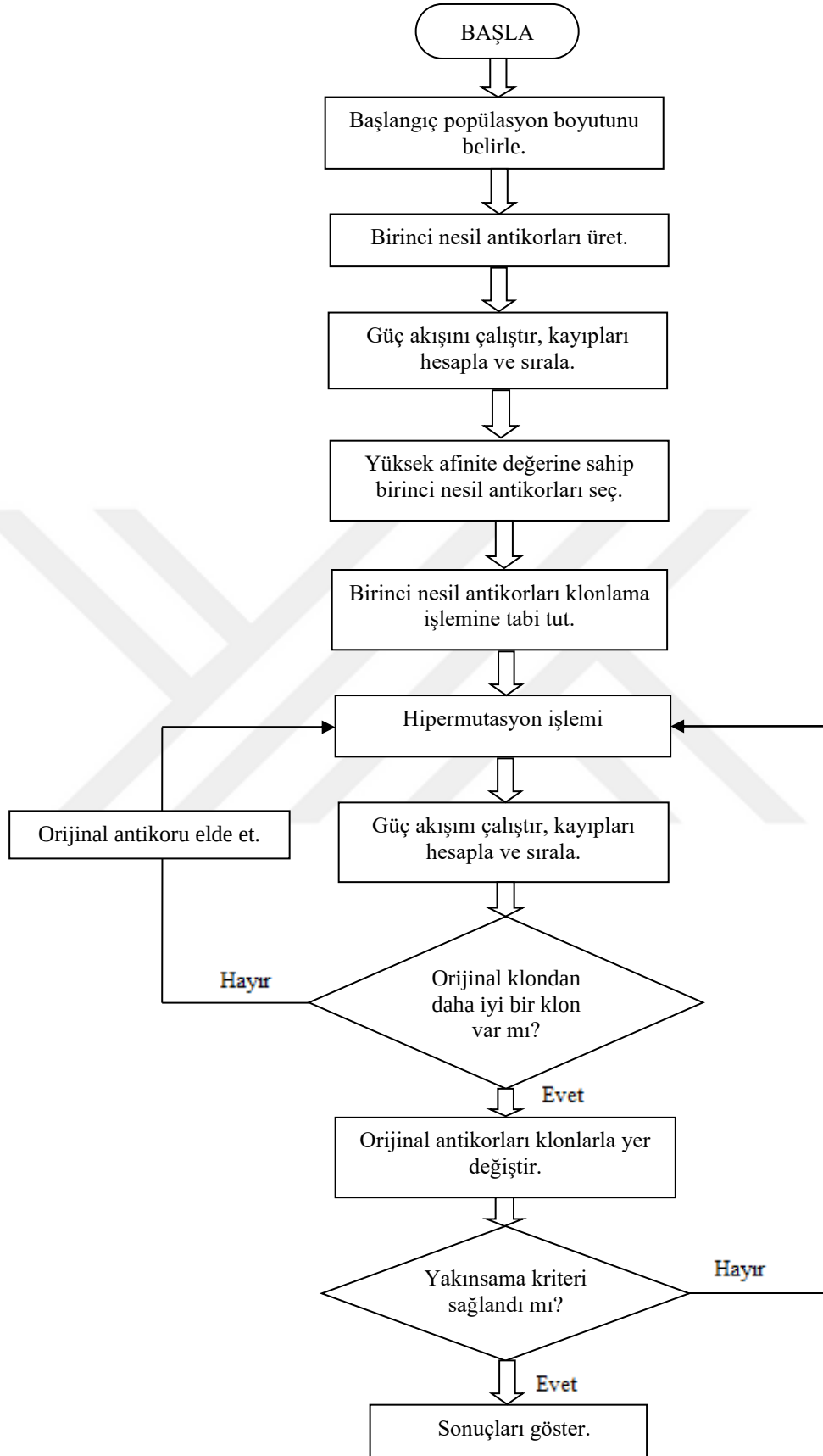
Şekil 4.8: Klonal seçim algoritmasının akış şeması.

Klonal seçim algoritması bir parametre yönetimi değildir, bu nedenden ötürü de genetik algorithmadan ayrılır. Yakınlık oranının yenilenmesi ve yakınlık olgunlaştırılması klonal seçim algoritmasının iki farklı özeliğidir.

4.6 Geliştirilen Algoritma (Yara İyileşme Algoritması)

Yara iyileşme algoritmasının temel yapısında klonal seçim ilkesi yatar. Klonal seçim algoritmasında üretilen klon sayısı Denklem 4.17’de görölmektedir. Geliştirilen

yara iyileşme algoritmasında Denklem 4.17'ye α (klonlama faktörü) ve f (Klonlama işlemini hızlandırma faktörü) parametreleri eklenmiştir. Böylece elde edilen denklem 4.20' de görülmektedir. Eklenen bu yeni parametreler daha iyi sonuç elde edilmesini sağlamıştır. Elde edilen daha iyi sonuçlar Bölüm 5'de detaylı olarak gösterilmiştir. Geliştirilen algoritmanın akış şeması Şekil 4.9'da verilmiştir. İlk olarak başlangıç popülasyonu P üretilir. Sonra seçim işlemi yeni bir P_n popülasyonu oluşturmak için n adet en iyi afinite özelliğine sahip antikorları seçer. Afinite, antikor ile antijenin birbirine bağlanmasına neden olan çekim başka bir ifadeyle bağışıklık yanıtı demektir. Seçim işlemindeki temel kural antikorların afinite değeridir. Oluşturulan bu popülasyondaki bireyler yeni bir popülasyon oluşturabilmek için klonlama işlemi yardımıyla klonlanır. Klon sayıları antikorların afinite değerine bağlıdır. Daha sonra hipermutasyon işlemi yardımıyla yeni bir popülasyon oluşturmak için klonlar mutasyon işlemine tabi tutulur. Mutasyon işlemindeki temel kural; yüksek afinite değerine sahip antikorlar daha düşük mutasyon oranına sahiptir ya da tersi düşünülürse; düşük afinite değerine sahip klonlar daha yüksek mutasyon oranına sahiptir. Bunun nedeni; lokal optimum değerine yakın antikorlar çözüm değerine daha yakındır; fakat optimum çözümden uzak olan antikorlar; optimum veya en iyi çözüme doğru hareket edebilmesi için fazla miktarda mutasyona uğrarlar. Tekrar seçim işlemi en iyi klonların ailelerinden iyi olup olmadığını kontrol eder. En sonunda; düşük benzerlikteki antikorlar, yeni antikorlarla yer değiştirilir. Seçim işlemi, klonlama ve mutasyon işlemi popülasyonu en iyi çözüme doğru hareket ettirir.



Şekil 4.9: Yara iyileşme algoritması akış şeması.

4.6.1 Yara iyileşme algoritması çözüm aşamaları:

1. N adet antikorla başlangıç popülasyonunu (P) üret.
2. P popülasyonundaki her bir antikor için afinite belirle. En iyi afinite değerine sahip n adet antikoru (N_s) seç ve P_n popülasyonunu oluştur.

Antikor ve antijen arasındaki afinite değerini ölçmek için genellikle aralarındaki uzaklığa bakılır. Öklit mesafe formülü ile Denklem 4.18 yardımıyla hesaplanır:

$$d = \sum_{i=1}^N (Ag_i - Ab_i)^2 \quad (4.18)$$

Hesaplanan d eşik değer λ ile karşılaştırılır ve E işaretleme hatası aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$E = d - \lambda \quad (4.19)$$

Eğer $E < 0$ ise antikor antijeni tanımamaktadır ve aralarında bir afinite yoktur. E değeri 0 ile 1 arasında ise aralarında bir afinite vardır denir.

3. 2. aşamada seçilen n adet antikoru klonla ve geçici klon popülasyonu N_c ' yi oluştur. N_c 'yi oluşturmak için Denklem 4.20 kullanılır.

$$N_{c_i} = \sum_{i=1}^n \text{round} \left(\frac{\alpha * N_s * f}{i} \right) \quad (4.20)$$

α : Klonlama faktörü (değeri 0 ile 1 arasında değişmektedir)

f : Klonlama işlemini hızlandırma faktörü (değeri 0.9 ile 0.99 arasında değişmektedir.)

N_s : 2. Adımda seçilen en iyi antikor sayısı

4. N_c klon popülasyonunu hipermutasyon işlemine tabi tutun. N_c^* alt popülasyonunu oluşturun. Hipermutasyon işlemi antikorların afinite değeriyle orantılıdır [70].
5. N_c^* alt popülasyonuna ait her bir antikoru afinite değerini hesapla ve içinden en iyi değere sahip antikorları seçerek $N_{c(n)}^*$ oluştur ve başlangıç popülasyonuna ekle.
6. Düşük afinite değerine sahip antikorları yeni antikorlarla yer değiştir.
7. Eğer P popülasyonunun değeri N 'den küçükse popülasyonu tamamlamak için antikorları üret.
8. Yakınsama testini yap. Test başarılı ise programı durdur. Yoksa işlemlere devam et.

4.6.2 Algoritmanın optimizasyon problemine uygulanması

Yara iyileşme algoritması yardımıyla optimum yük akışının adımları aşağıdaki gibidir:

1. Adım: Başlangıç popülasyonunu oluşturma

Başlangıç aşamasında antikor popülasyonu gerçek değerli kodlanmış sayılardan rastgele üretilir. Optimizasyon probleminde jeneratör gerçek güç değerleri, jeneratör gerilimleri ve baralardaki reaktif güç değerleri birer antikor olarak oluşturulur.

2. Adım: Her bir antikoru afinite değerini belirle

Yara iyileşme algoritmasının uygunluk değeri akıllı şebekenin toplam güç kayıpları gibi kabul edilir. Şebekedeki toplam kayıplar güç akış probleminin uygun yöntemlerle çözümünden elde edilir. Çözüm aşamasında sınır değerlerine dikkat edilir. Optimizasyon işlemi için yara iyileşme algoritmasının uygunluk değeri dağıtım sistemindeki toplam kayıp gibi düşünülür. Toplam kayıplar güç akış probleminin çözülmesinden elde edilir. Çözüm yapılırken minimum ve maksimum gerilim sınır değerlerinin aşılmamasına dikkat edilir.

3. Adım: Klonlama işlemi

Dağıtım sistemindeki toplam güç kayıpları klonlama işlemine tabi tutulur.

4. Adım: Mutasyon işlemi

Bu adımda bir önceki adımda klonlanan antikorlar mutasyon işlemine tabi tutulur. Güç akış problemi sayesinde mutasyon işleminin sayısı belirlenir.

5. Adım: Yakınsama testi

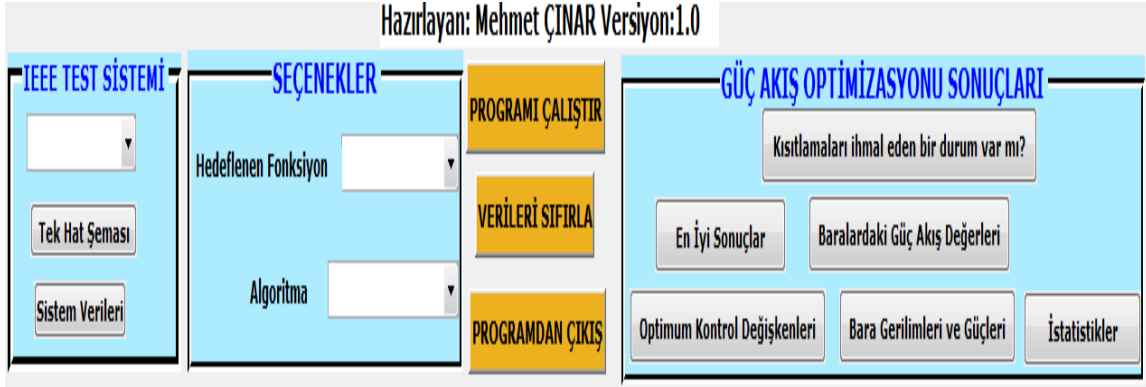
Denklem 4.21'deki yakınsama kriterine göre algoritmanın çalışmaya devam edip etmeyeceği belirlenir. Bu şart sağlanana kadar algoritma çalışmaya devam eder.

$$maksimum_{uygunluk} - minimum_{uygunluk} \leq 0,0001 \quad (4.21)$$

5. GELİŞTİRİLEN PROGRAMIN TANITILMASI, OPTİMUM YÜK DAĞILIMI ANALİZİ ve SONUÇLARIN ELDE EDİLMESİ

5.1 Geliştirilen Program Hakkında Genel Bilgi

Tez aşamasında geliştirilen programa oyamatlab ismi verilmiştir. Program Matlab GUI ortamında yazılmış ve menülü bir programdır. Program ilk çalıştırıldığında Şekil 5.1’de görülen menü ekrana gelmektedir.



Şekil 5.1: Program ilk çalıştığında elde edilen menü.

Program yük akış analizinde Newton Raphson yöntemini kullanmaktadır. Programda test sistemi olarak IEEE 6, IEEE 9, IEEE 14, IEEE 30, IEEE 39, IEEE 57 ve IEEE 118-baralı test sistemleri kullanılmış ve menülere eklenmiştir. Hedeflenen fonksiyon kısmında yakıt maliyeti, güç kayıpları ve gerilim profilin iyileştirme fonksiyonları bulunmaktadır. Oyamatlab programı optimizasyon algoritması olarak literatürde sıklıkla kullanılan ateş böceği, yapay arı kolonisi, guguk kuşu ve klonal seçim algoritmasını kullanmaktadır. Bunun yanında bu tez çalışması süresince klonal seçim algoritması tabanlı geliştirilen yara iyileşme algoritması menülerde sonuncu algoritma olarak karşımıza çıkmaktadır.

5.2 Menülerin Tanıtılması

5.2.1 IEEE test sistemi:

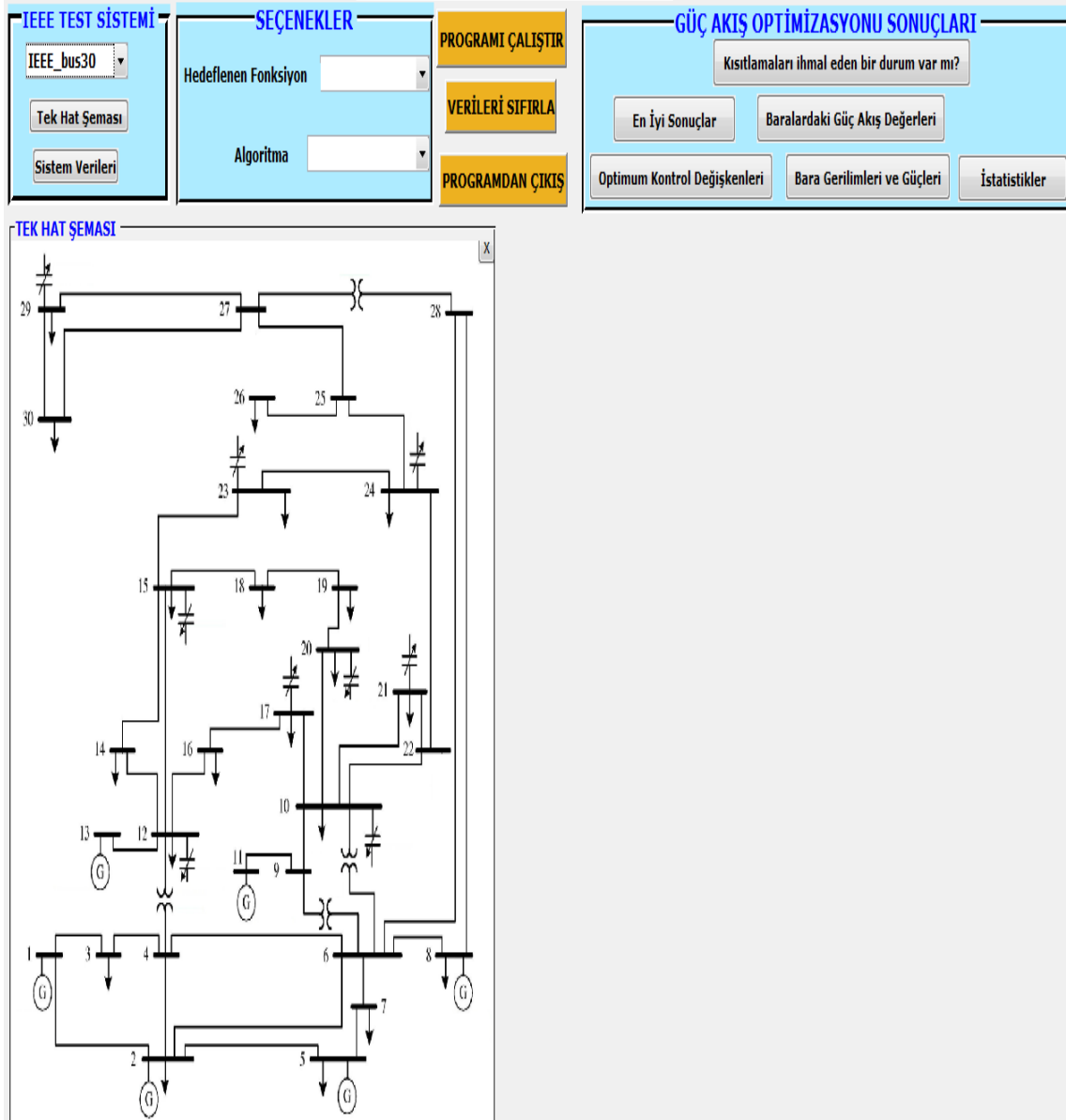
Program çalıştırıldıktan sonra Şekil 5.1’deki menüden test sistemin seçilmesi gerekmektedir. Şekil 5.2’de görüldüğü gibi IEEE bara test sistemi menüsü seçildiğinde programda mevcut test sistemlerinin isimleri gelecektir ve hangi test sistemle analiz yapılacaksa o seçilmelidir. Örnek olarak test sistem IEEE 30-baralı test sistemi

seçildikten sonra tek hat şeması butonuna tıklandığında Şekil 5.3'deki gibi görüntü elde edilir. Sistem verileri butonuna tıklandığında daha önce hangi test sistem seçilmişse o sisteme ait bara gerilimlerinin olduğu text dosyasına ulaşılır. Bu dosyada test sistemin başlangıç gerilim değerleri, baraların direnç ve reaktans değerleri, sistemdeki jeneratörlerin başlangıç aktif ve reaktif güç değerleri, sistemin yakıt maliyeti değerini hesaplamak için gerekli olan jeneratörlerin maliyet katsayıları mevcuttur. Yük akış analizi yapılırken bu dosyadaki mevcut değerler kullanılarak analiz yapılmaktadır.

Hazırlayan: Mehmet ÇINAR Versiyon:1.0

IEEE TEST SİSTEMİ	SEÇENEKLER	PROGRAMI ÇALIŞTIR	GÜÇ AKIŞ OPTİMİZASYONU SONUÇLARI
IEEE_bus6 IEEE_bus9 IEEE_bus14 IEEE_bus30 IEEE_bus39 IEEE_bus57 IEEE_bus118	Hedeflenen Fonksiyon Algoritma	PROGRAMI ÇALIŞTIR VERİLERİ SIFIRLA PROGRAMDAN ÇIKIŞ	Kısıtlamaları ihmal eden bir durum var mı? En İyi Sonuçlar Baralardaki Güç Akış Değerleri Optimum Kontrol Değişkenleri Bara Gerilimleri ve Güçleri İstatistikler

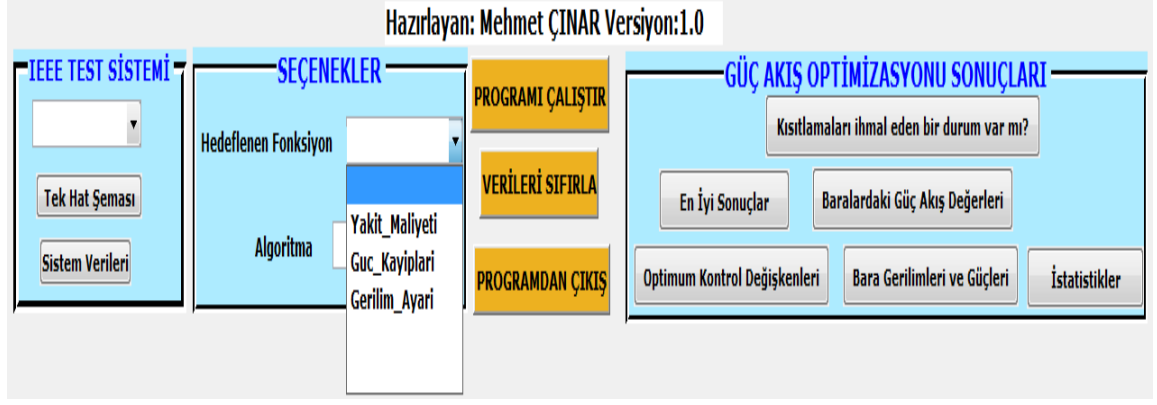
Şekil 5.2: IEEE test sisteminin seçilmesi.



Şekil 5.3: IEEE 30-baralı test sistemi tek hat şeması.

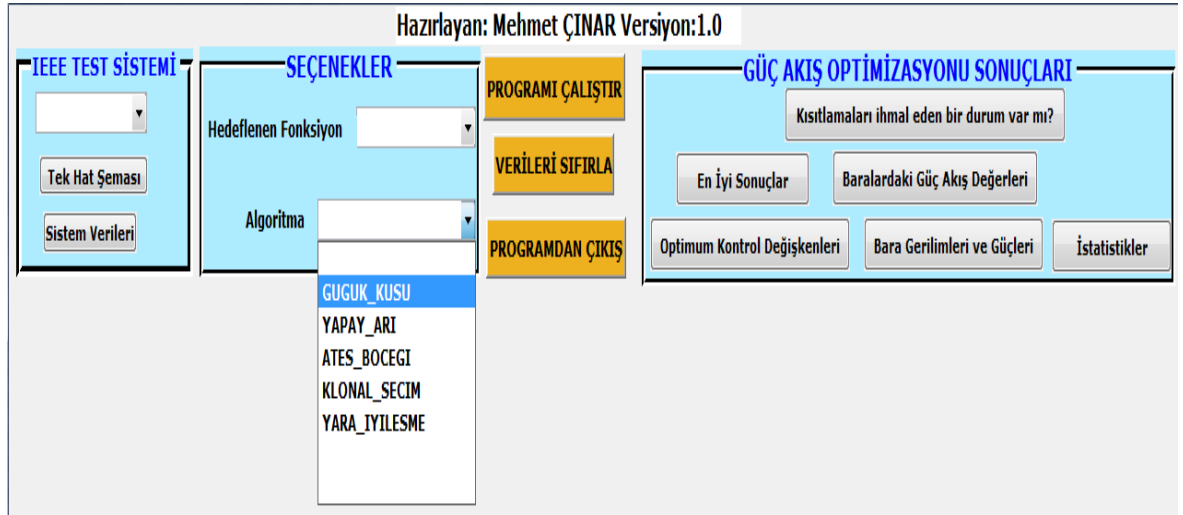
5.2.2 Seçenekler

Oyamatlab programının asıl kısmını seçenekler menüsü oluşturmaktadır. Hedeflenen fonksiyon kısmı tıklandığında yakıt maliyeti, güç kayıpları ve gerilim ayarı alt menüleri gelmektedir. Yakıt maliyeti, güç kayıpları ve gerilim profilini iyileştirme Bölüm 3'te ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Seçenekler alt menüleri Şekil 5.4'de görülmektedir.



Şekil 5.4: Hedeflenen fonksiyon seçimi.

Algoritma menüsü tıklandığında optimizasyon işlemi için programda kullanılan algoritmaların isimleri ekrana gelmektedir. Programda hangi algoritmaların kullanılacağı detaylı literatür taraması sonucunda seçilmiştir. Özellikle güç sistemlerinde optimizasyon işlemi yapılırken genellikle ateş böceği, yapay arı kolonisi, guguk kuşu algoritmaları kullanılmaktadır. Tez çalışması boyunca geliştirilen yara iyileşme algoritmasının temelinde klonal seçim algoritması bulunmaktadır. Bundan dolayı klonal seçim algoritması ve tezde geliştirilen yara iyileşme algoritması da programa eklenmiştir. Programda kullanılan algoritmaların detayları Bölüm 4’te verilmiştir. Şekil 5.5’de görüldüğü gibi algoritma menüsü seçildiğinde algoritmaların isimleri ekrana gelmektedir.



Şekil 5.5: Programda kullanılan algoritmalar ve isimleri.

Program çalıştırıldığında Şekil 5.5’deki algoritmalarından hangisi seçilirse o algoritmaya ait parametreler ve değerleri ekrana gelmektedir. Programda kullanılan algoritmaların varsayılan değerleri Çizelge 5.1’de verilmiştir. Çizelge 5.1’de verilen

sayısal değerler her bir algoritma için en optimum sonucun elde edildiği değerlerdir. Programda kullanılan algoritmalar stokastik algoritmalar. Yani algoritma ilk çalıştırıldığında başlangıç değerlerini rastgele atadığı için her çalışmada farklı sonuçlar vermektedir. Bu yüzden her bir algoritma en az 30 defa çalıştırılarak optimum parametre değerleri elde edilmiştir. Program menüsünde bulunan istatistikler butonu algoritmanın çalışma sayısını, hesaplanan en küçük değeri, en büyük değeri, ortalama değeri, standart sapmayı ve programın ortalama çalışma süresini göstermektedir.

Çizelge 5.1: Algoritmalarda kullanılan parametreler ve varsayılan değerler.

Ateş Böceği		Yapay Arı Kolonisi		Guguk Kuşu		Klonal Seçim		Yara İyileşme	
Parametre	Varsayılan değer	Parametre	Varsayılan değer	Parametre	Varsayılan değer	Parametre	Varsayılan değer	Parametre	Varsayılan değer
Popülasyon sayısı	150	Besin kaynağı sayısı	150	Popülasyon sayısı	150	Popülasyon sayısı	150	Popülasyon sayısı	150
İterasyon sayısı	150	İterasyon sayısı	150	İterasyon sayısı	150	İterasyon sayısı	150	İterasyon sayısı	150
Çalışma sayısı	30	Çalışma sayısı	30	Çalışma sayısı	30	Çalışma sayısı	30	Çalışma sayısı	30
Rastgele parametre (alfa)	0.95			İhtimal katsayısı	0.5	İyileşme katsayısı	1.3	İyileşme katsayısı	1.3
Başlangıç çekiciliği (beta)	0.1			Katsayı (beta)	1.2	Afinite katsayısı	1.3	Afinite katsayısı	1.3
Emilme katsayısı (gama)	6							Klon katsayısı (alfa)	0.4
								Klon hızlandırma (f)	0.95

Örnek olarak test sistemi IEEE 9-baralı test sistemi, hedeflenen fonksiyon yakıt maliyeti, optimizasyon algoritması olarak tezde geliştirilen yara iyileşme algoritması seçilip varsayılan butonuna tıklanırsa Şekil 5.6'daki görüntü elde edilir.

Hazırlayan: Mehmet ÇINAR Versiyon:1.0

IEEE TEST SİSTEMİ

IEEE_bus9

Tek Hat Şeması

Sistem Verileri

SEÇENEKLER

Hedeflenen Fonksiyon: Yakıt_Maliyeti

Algoritma: YARA_IYİLEŞME

PROGRAMI ÇALIŞTIR

VERİLERİ SIFIRLA

PROGRAMDAN ÇIKIŞ

GÜÇ AKIŞ OPTİMİZASYONU SONUÇLARI

Kısıtlamaları ihmal eden bir durum var mı?

En İyi Sonuçlar

Baralardaki Güç Akış Değerleri

Optimum Kontrol Değişkenleri

Bara Gerilimleri ve Güçleri

İstatistikler

TEK HAT ŞEMASI

YARA İYİLEŞME PARAMETRELERİ

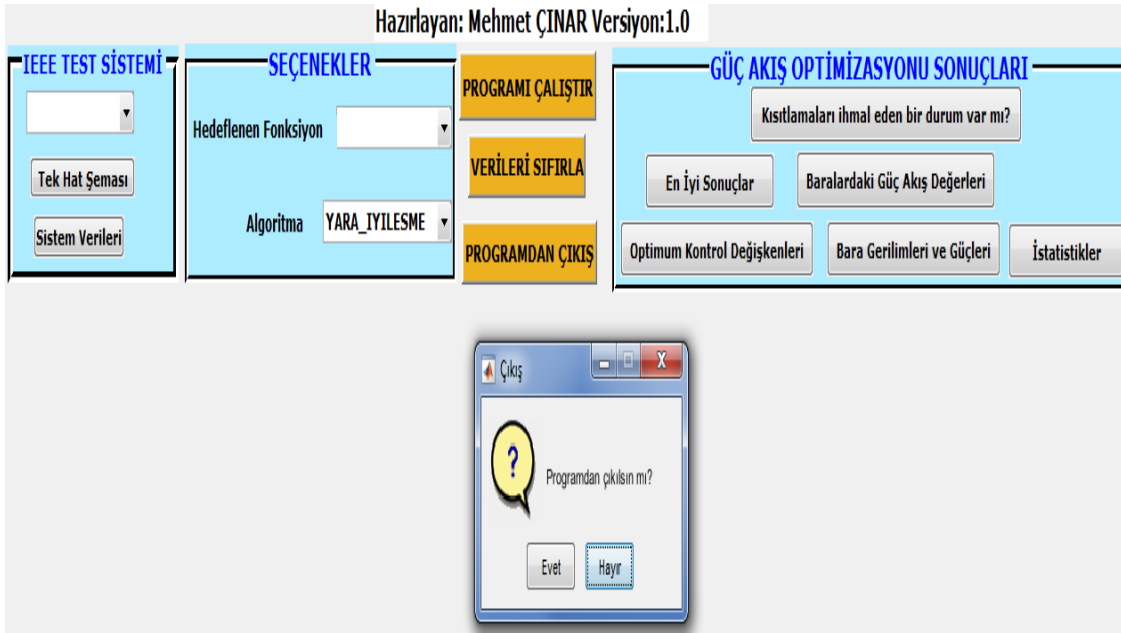
Varsayılan: veya özel değerler

Popülasyon sayısı, P:	150
İterasyon sayısı	150
Çalışma sayısı, Itç:	1
İyileşme katsayısı, d1:	1.3
Afinite katsayısı :	1.3
Klon Katsayısı:	0.4
Klon hızlandırma, f:	0.95

TAMAM

Şekil 5.6: Yara iyileşme algoritması parametreleri ve varsayılan değerler.

Verileri Sıfırla butonu tıklandığında programda daha önce hesaplanan değerler sıfırlanacak ve hafızadan silinecektir. Yani yeni sonuçlar almak için programın kapatılıp çalıştırılmasına gerek kalmadan verileri sıfırla butonu yardımıyla tekrar yük akış analizi yapılabilmektedir. Programdan çıkış butonu tıklandığında Şekil 5.7’de görüldüğü gibi menü gelerek evet ya da hayır tuşuna basılarak programdan çıkılıp çıkılmayacağına karar verilir. Evet butonuna basıldığında program menüsü kapatılarak Matlab GUI ortamına geri dönecektir.



Şekil 5.7: Program çıkış butonu ekran görüntüsü.

Algoritma menüsünde seçilen herhangi bir algoritmanın parametreleri mutlaka sayısal bir değer olmalıdır. Herhangi bir sayısal değer girilmezse ya da boş bırakılırsa program bunu algılayacak ve **“Herhangi bir sayısal değer girmelisiniz”** şeklinde bir uyarı mesajı verecektir.

IEEE test sistemi, hedeflenen fonksiyon ve algoritma seçildikten sonra programı çalıştır butonuna basıldığında belli bir süre sonra program sonuçları elde edilir. Elde edilen optimum kontrol değişkenleri, en iyi sonuçlar, baralardaki güç akış değerleri, bara gerilimleri, istatistikler ve kısıtlamaları ihmal eden bir durum var mı? Butonlarına tıklanarak sonuçlar ekranda görülebilecektir. Tezin 5.3 bölümünde tezde geliştirilen yara iyileşme algoritmasının IEEE 9, IEEE 30 ve IEEE 118-baralı test sistemlerine ait elde edilen sonuçları detaylı olarak verilmiştir. Test bara sistemi seçilirken bara sayısı arttıkça programın çalışma süresi de doğal olarak artacaktır.

5.3 Optimum Yük Dağılımı Analizi

Optimum yük dağılımı analizi için yakıt maliyeti, güç kayıpları ve gerilim profilini iyileştirme fonksiyonları seçilerek aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

5.3.1 Yakıt maliyeti fonksiyonu:

5.3.1.1 IEEE 9-baralı test sistemi:

IEEE 9-baralı test sistemin başlangıç ve temel değerleri Çizelge 5.2’de görülmektedir.

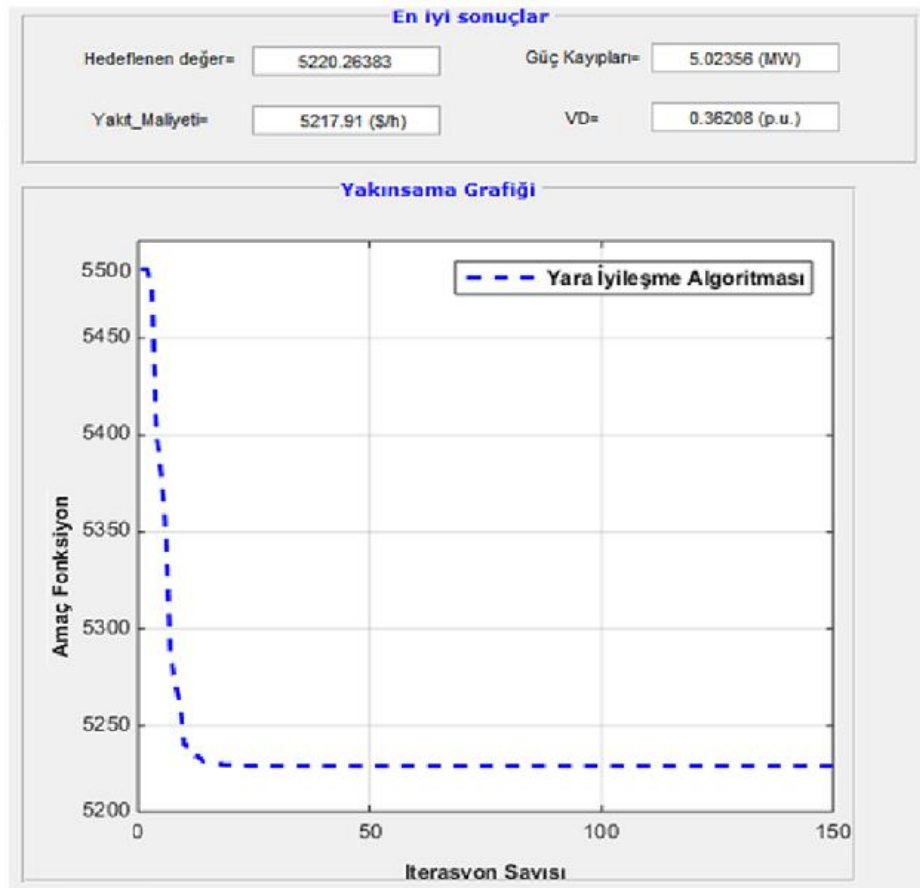
Çizelge 5.2: IEEE 9-baralı test sistemi başlangıç değerleri.

Toplam bara sayısı	9
Toplam hat sayısı	9
Toplam jeneratör sayısı	3
Toplam transformatör sayısı	3
Şönt kapasitör sayısı	1
Toplam yüklü bara sayısı	6

Çeşitli değişkenlerin limit değerleri

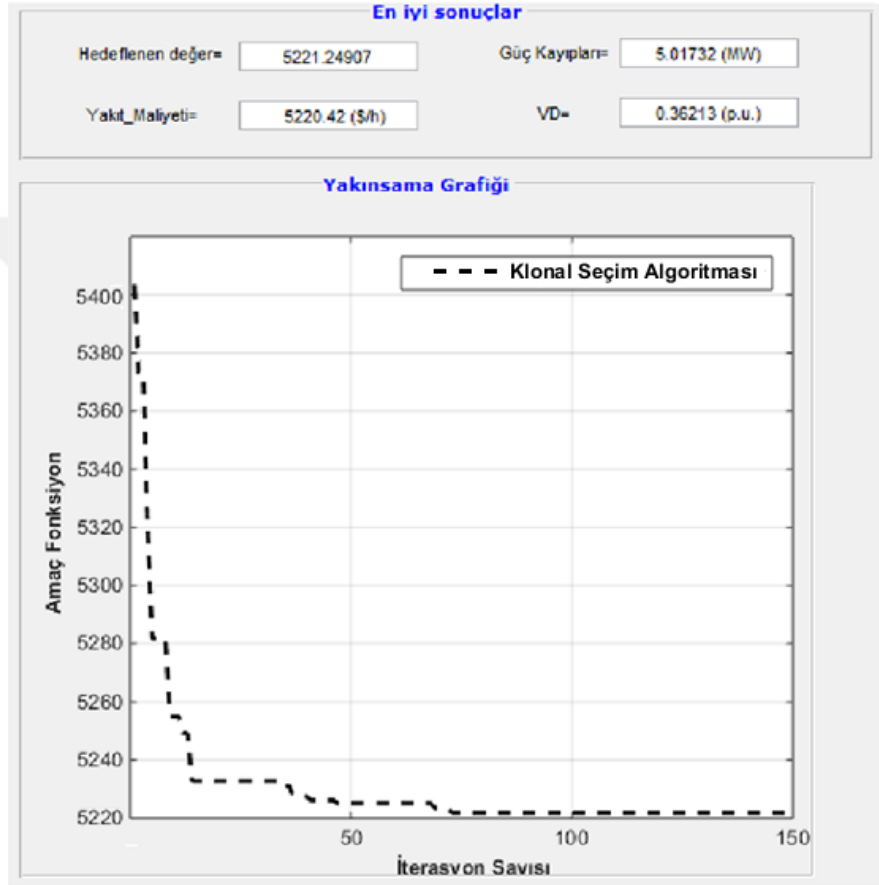
	Jeneratör gerilimi (p.u)	Transformatör oranı (p.u)	Kondansatör kapasitesi (MVAR)	Yük gerilimi (p.u)
Min	0.95	0.9	0	0.95
Maks	1.1	1.1	5	1.05

IEEE 9-baralı test sistemin program çalıştırıldıktan sonra elde edilen sonuçları aşağıdaki gibidir.



Şekil 5.8: İterasyon sayısına göre amaç fonksiyon değerinin değişim grafiği.

Şekil 5.8’de test sistem olarak IEEE 9-baralı test sistemi, hedeflenen fonksiyon yakıt maliyeti ve algoritma olarak yara iyileşme algoritması seçilip program çalıştıktan sonra elde edilen yakıt maliyeti değerinin iterasyon sayısına göre değişimi görülmektedir. Program sonucunda elde edilen en optimum yakıt maliyeti değeri 5217.91 (\$/saat)tır. Şekil 5.8 incelendiğinde özellikle 20. iterasyondan sonra grafiğin doğrusallaştığı yani optimum sonuç değerinin elde edildiği görülmektedir.

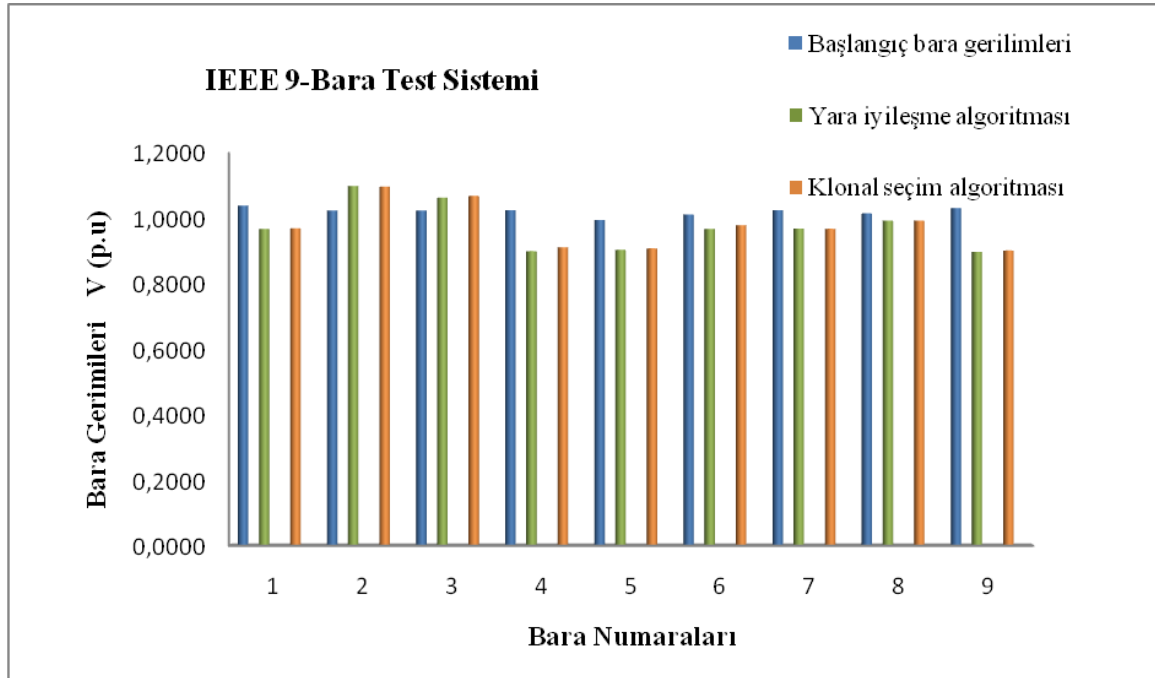


Şekil 5.9: İterasyon sayısına göre amaç fonksiyon değerinin değişim grafiği.

Şekil 5.9’da klonal seçim algoritması sonucu görülmektedir. Algoritma sonucunda elde edilen optimum yakıt maliyeti 5220.42 (\$/saat) tır ve yaklaşık 80. iterasyondan sonra grafiğin doğrusallaştığı görülmektedir. Şekil 5.8’de görüldüğü gibi yara iyileşme algoritması sonucu elde edilen değer klonal seçim algoritması sonucu elde edilen değere göre daha iyi bir değerdir. Çizelge 5.3’de başlangıç bara gerilim değerleri, geliştirilen yara iyileştirme algoritması sonucu elde edilen bara gerilim değerleri ve klonal seçim algoritması sonucu elde edilen bara gerilimlerinin kıyaslandığı çizelge görülmektedir.

Çizelge 5.3: Bara başlangıç değerleri ve program sonucunda elde edilen değerler.

Bara No	Bara gerilimi başlangıç değerleri (p.u)	Yara iyileşme algoritması sonucu elde edilen bara gerilimleri (p.u)	Klonal seçim algoritması sonucu elde edilen bara gerilimleri (p.u)
1	1.0400	0.9685	0.9701
2	1.0250	1.1000	1.1002
3	1.0250	1.0643	1.0694
4	1.0258	0.9004	0.9121
5	0.9956	0.9043	0.9089
6	1.0126	0.9687	0.9797
7	1.0258	0.9694	0.9689
8	1.0159	0.9936	0.9941
9	1.0323	0.9005	0.9023



Şekil 5.10: Başlangıç gerilim değerleri ile hesaplanan gerilim değerlerinin karşılaştırılması.

Şekil 5.10’da, başlangıç bara gerilimleri, yara iyileşme algoritması ve klonal seçim algoritması sonucu elde edilen bara gerilim değerlerinin grafiksel olarak gösterimi görülmektedir. Grafik incelendiğinde; yara iyileşme algoritması sonucunda elde edilen gerilim değerlerinin 2 ve 3 nolu bara hariç diğer baralarda başlangıç değerlerinden daha az olduğu görülmektedir. 2 ve 3 nolu baralarda generatör bulunduğundan gerilim değeri yüksek çıkacaktır. Çünkü kontrol değişkenlerinden birisi de generatör gerilim değeri olduğundan daha optimize sonuç elde edebilmek için generatörlerin bağlı olduğu

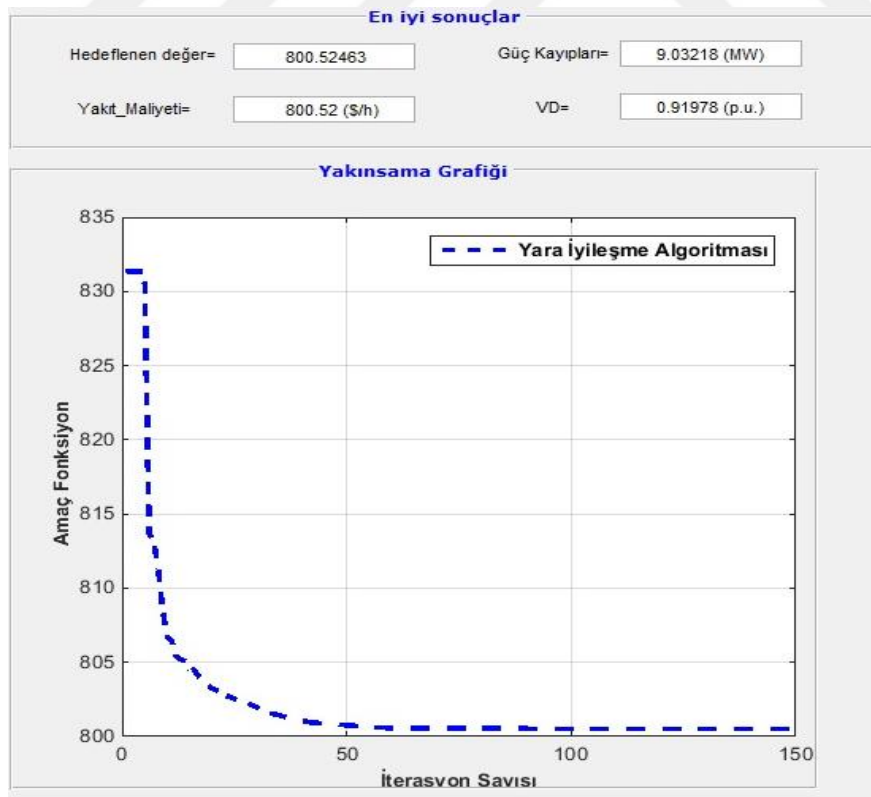
baraların gerilim değeri program tarafından başlangıç değerine göre yüksek hesaplanmıştır.

5.3.1.2 IEEE 30-baralı test sistemi:

IEEE 30-baralı test sistemin başlangıç ve temel değerleri Çizelge 5.4’de görülmektedir.

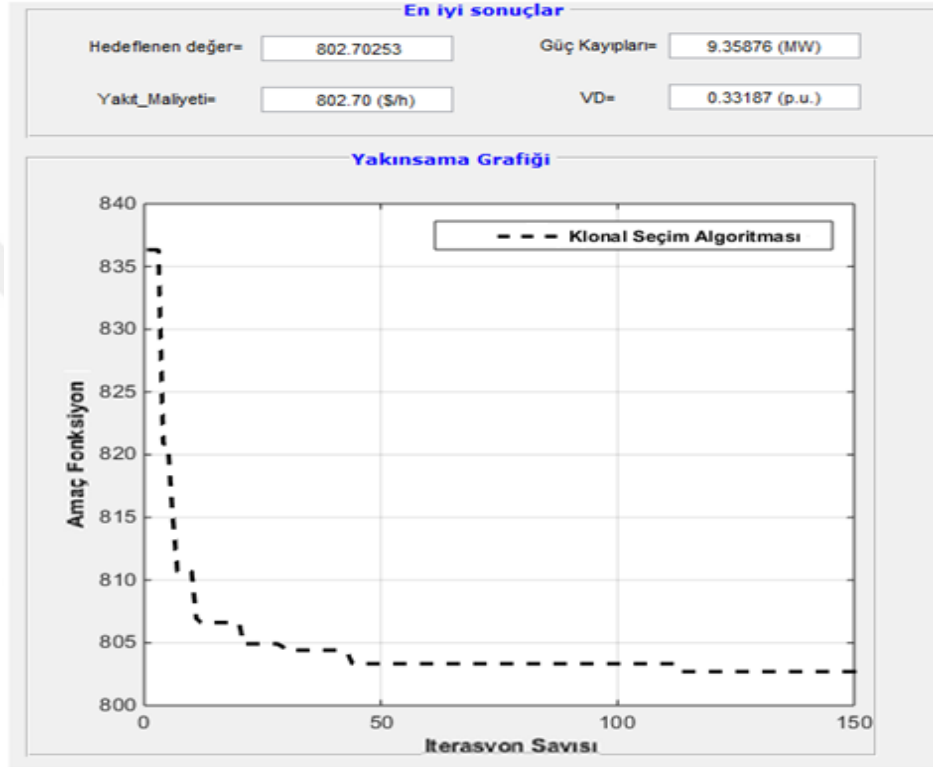
Çizelge 5.4: IEEE 30-baralı test sistemi başlangıç değerleri.

Toplam bara sayısı	30			
Toplam hat sayısı	41			
Toplam jeneratör sayısı	6			
Toplam transformatör sayısı	4			
Şönt kapasitör sayısı	9			
Toplam yüklü bara sayısı	24			
Başlangıç aktif güç kaybı (MW)	5.811			
Başlangıç reaktif güç kaybı (MVar)	32.417			
Çeşitli değişkenlerin limit değerleri				
Jeneratör gerilimi (p.u)	Transformatör oranı (p.u)	Kondansatör kapasitesi (MVar)	Yük gerilimi (p.u)	
Min	0.95	0.9	0	0.95
Maks	1.1	1.1	5	1.05



Şekil 5.11: İterasyon sayısına göre amaç fonksiyon değerinin değişim grafiği.

Şekil 5.11’de test sistem olarak IEEE 30-baralı test sistemi, amaçlanan fonksiyon yakıt maliyeti ve algoritma olarak yara iyileşme algoritması seçilip program çalıştıktan sonra elde edilen yakıt maliyeti değerinin iterasyon sayısına göre değişimi görülmektedir. Program sonucunda elde edilen yakıt maliyeti değeri 800.52 (\$/saat)tır. Şekil 5.11 incelendiğinde özellikle 50. iterasyondan sonra grafiğin doğrusallaştığı yani optimum sonuç değerinin elde edildiği görülmektedir.



Şekil 5.12: İterasyon sayısına göre amaç fonksiyon değerinin değişim grafiği.

Şekil 5.12’de klonal seçim algoritması sonucu elde edilen yakıt maliyeti değerinin iterasyon sayısına göre değişimi görülmektedir. Klonal seçim algoritması sonucu elde edilen değer 802,70 (\$/saat) tir. Yara iyileşme algoritması sonucu elde edilen değer 800,52 dir ve klonal seçim algoritmasından 2,18 (\$/saat) daha iyi bir değerdir. Bu değerler elde edilirken algoritmanın parametreleri en optimum değeri sağlayacak şekilde belirlenmiştir. Çizelge 5.1’de programda kullanılan parametrelerin optimum değerleri verilmiştir. Çizelge 5.5’de elde edilen sonuçlar diğer meta-sezgisel algoritmalarla kıyaslanmıştır.

Çizelge 5.5: IEEE 30-baralı test sisteminde çeşitli algoritmaların yakıt maliyeti değerinin karşılaştırılması.

Kontrol değişkenleri	Yara iyileşme algoritması	ABC [71]	PPSO [72]	MOMICA [73]	MSA[74]	CSA	GA[75]
Jeneratör aktif güçleri (p.u)							
P₁	1.7618	1.7679	1.7713	1.7305	1.7502	1.7529	1.7936
P₂	0.4869	0.4850	0.4882	0.4813	0.4873	0.5187	0.4424
P₅	0.2135	0.2150	0.2140	0.206	0.2145	0.2312	0.2461
P₈	0.2118	0.2132	0.2130	0.2753	0.2106	0.1899	0.1990
P₁₁	0.1197	0.1230	0.1182	0.1184	0.1196	0.1281	0.1071
P₁₃	0.1200	0.1200	0.1200	0.1206	0.12	0.1209	0.1409
Jeneratör gerilimleri (p.u)							
V₁	1.0845	1.0811	1.08	1.0281	1.0848	1.0669	*
V₂	1.0653	1.0584	1.06	1.0194	1.0653	1.0517	*
V₅	1.0338	1.0283	1.03	1.019	1.0338	1.0022	*
V₈	1.0390	1.0375	1.03	0.9992	1.0382	1.0189	*
V₁₁	1.0910	1.0977	1.07	1.0748	1.0927	1.0567	*
V₁₃	1.0385	1.0488	1.05	1.004	1.0453	1.0186	*
Transformatör tap ayarı (p.u)							
T₆₋₉	1.0252	1.0500	0.908	1.0979	1.049	0.9828	*
T₆₋₁₀	0.9437	0.9500	0.984	0.9001	0.9387	1.0156	*
T₄₋₁₂	0.9628	0.9875	1.096	0.9707	0.9701	1.0060	*
T₂₈₋₂₇	0.9731	0.9750	0.982	0.9541	0.9749	1.0017	*
Kapasitör değerleri (MVar)							
Q_{c-10}	0.7227	5	3.4	5	2.37	0,60	3.15
Q_{c-12}	4.5750	5	3.02	1	2.57	4.4092	4,25
Q_{c-15}	5	5	2.93	5	4.2	1.7856	2,62
Q_{c-17}	4.9722	5	0	0	5	4.1897	0
Q_{c-20}	4.1457	4	4.55	5	3.68	3.2872	2.99
Q_{c-21}	5	5	4.84	5	4.95	1.0640	3.23
Q_{c-23}	2.1972	3	3.7	5	3.08	2.6648	3.12
Q_{c-24}	5	5	5	5	4.98	3.9586	5
Q_{c-29}	2.6697	5	0	1	2.48	1.1234	1.29
F_{maliyet} (MW)	800.52	800.66	800.64	804.96	800.59	802.70	803.69

*: Belirtilmemiş

Çizelge 5.5 incelendiğinde yara iyileşme algoritması sonucu elde edilen yakıt maliyeti değerinin diğer algoritmalara daha iyi bir sonuç olduğu görülmektedir. Değerler karşılaştırılırken algoritmaların aynı şartlarda çalıştırıldığı göz önüne alınmıştır. Karşılaştırma yapılacak algoritmalar seçilirken bu göz önünde bulundurularak literatür

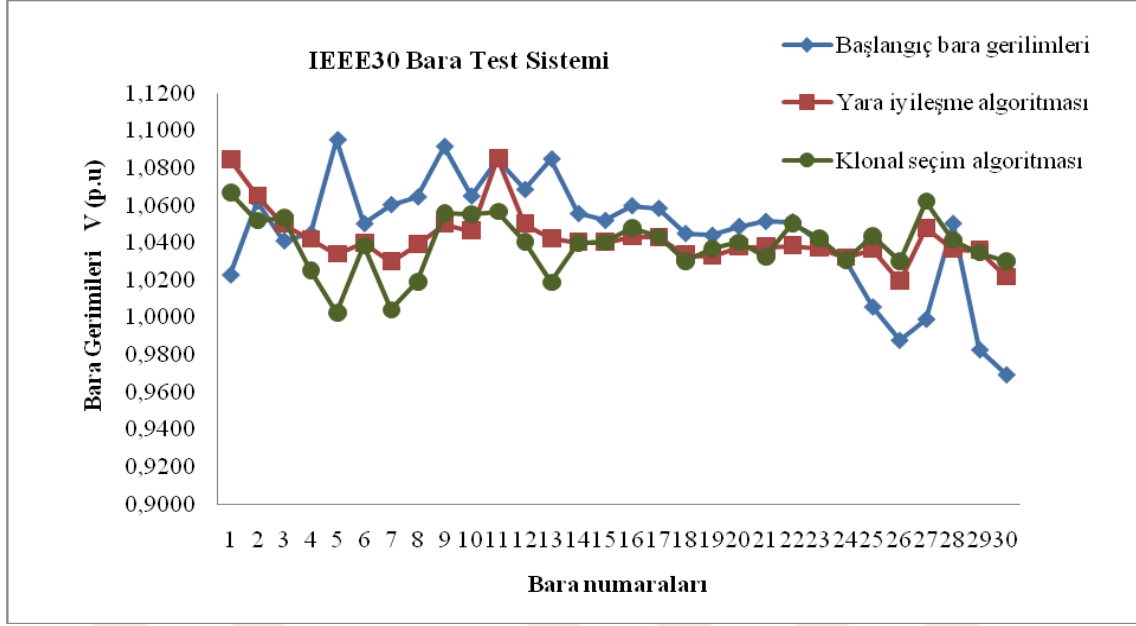
taraması yapılmıştır. Klonal seçim algoritması hariç diğer algoritmaların sonuç değerleri ilgili referanstan elde edilmiştir. Her bir algoritma 30 defa çalıştırılarak en optimum sonuç elde edilmiş ve çizelge oluşturulmuştur. Hesaplanan 800,52 değerine en yakın değer MSA algoritmasının sonuç değeridir. Çizelge 5.6 ve 5.7’de geliştirilen yara iyileştirme algoritması ve klonal seçim algoritması sonuçları ile başlangıç bara gerilim değerleri kıyaslanmıştır.

Çizelge 5.6: Bara başlangıç değerleri ve yara iyileştirme algoritması sonucu elde edilen gerilim değerleri.

Bara No	Bara gerilimi başlangıç değerleri (p.u)	Yara iyileştirme algoritması sonucu elde edilen bara gerilimleri (p.u)	Bara No	Bara gerilimi başlangıç değerleri (p.u)	Yara iyileştirme algoritması sonucu elde edilen bara gerilimleri (p.u)
1	1.0228	1.0845	16	1.0599	1.0429
2	1.0622	1.0653	17	1.0585	1.0428
3	1.0411	1.0500	18	1.0450	1.0335
4	1.0449	1.0417	19	1.0440	1.0326
5	1.0953	1.0338	20	1.0488	1.0375
6	1.0503	1.0398	21	1.0515	1.0378
7	1.0605	1.0298	22	1.0513	1.0384
8	1.0646	1.0390	23	1.0404	1.0368
9	1.0917	1.0498	24	1.0305	1.0320
10	1.0651	1.0464	25	1.0056	1.0365
11	1.0850	1.0853	26	0.9877	1.0192
12	1.0686	1.0500	27	0.9990	1.0477
13	1.0850	1.0422	28	1.0504	1.0364
14	1.0557	1.0403	29	0.9826	1.0360
15	1.0520	1.0403	30	0.9692	1.0216

Çizelge 5.7: Bara başlangıç değerleri ve klonal seçim algoritması sonucu elde edilen bara gerilimleri.

Bara No	Bara gerilimi başlangıç değerleri (p.u)	Klonal seçim algoritması sonucu elde edilen bara gerilimleri (p.u)	Bara No	Bara gerilimi başlangıç değerleri (p.u)	Klonal seçim algoritması sonucu elde edilen bara gerilimleri (p.u)
1	1.0228	1.0669	16	1.0599	1.0478
2	1.0622	1.0517	17	1.0585	1.0432
3	1.0411	1.0499	18	1.0450	1.0299
4	1.0449	1.0251	19	1.0440	1.0368
5	1.0953	1.0022	20	1.0488	1.0401
6	1.0503	1.0383	21	1.0515	1.0323
7	1.0605	1.0039	22	1.0513	1.0502
8	1.0646	1.0189	23	1.0404	1.0421
9	1.0917	1.0557	24	1.0305	1.0304
10	1.0651	1.0550	25	1.0056	1.0434
11	1.0850	1.0567	26	0.9877	1.0299
12	1.0686	1.0403	27	0.9990	1.0621
13	1.0850	1.0186	28	1.0504	1.0412
14	1.0557	1.0397	29	0.9826	1.0345
15	1.0520	1.0401	30	0.9692	1.0298



Şekil 5.13: Başlangıç gerilim değerleri ile elde edilen gerilim değerlerinin karşılaştırılması.

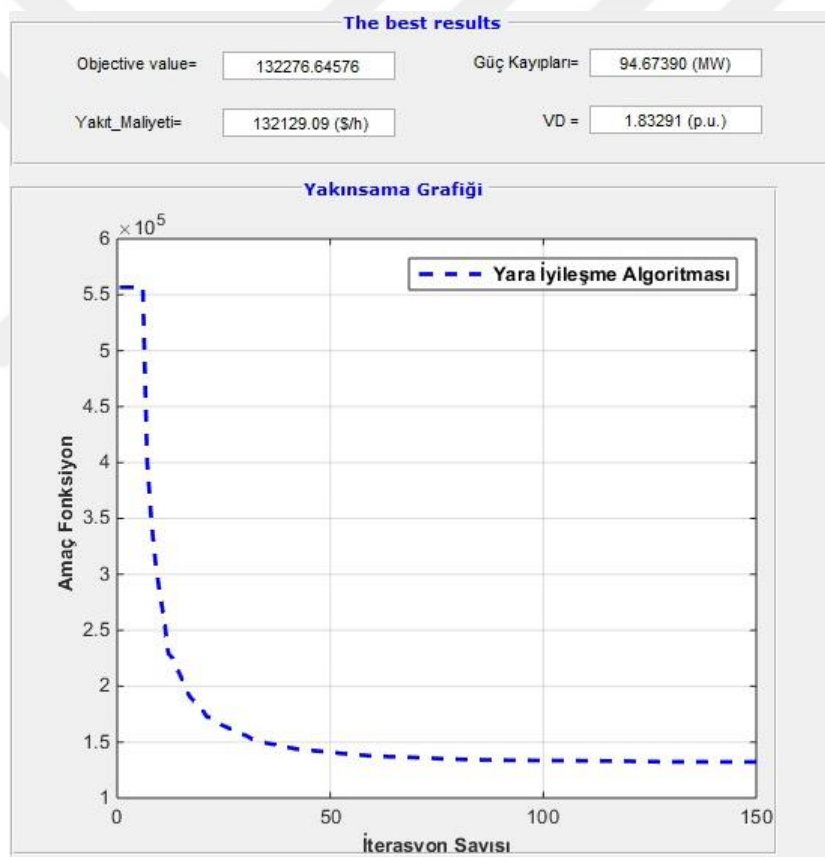
Şekil 5.13 incelendiğinde program sonucu elde edilen bara gerilim değerlerinin başlangıç gerilim değerlerine göre birçok barada daha az bir değer olduğu görülmektedir. Program ve algoritmanın amaçlarından birisi de; amaç fonksiyonu optimize ederken aynı zamanda baralardaki gerilim değerlerini izin verilen sınırlar (1.05 p.u den küçük ve 0.95 p.u ‘den büyük) içerisinde tutmaktır. Kontrol değişkenlerinin bağlı olduğu 1 ve 2. baralarda gerilim değeri 1.05 p.u dan fazladır. Bunun nedeni; algoritmanın optimizasyon işlemi yaparken bahsedilen baralardaki gerilim değerlerini yüksek tutarak diğer kontrol değişkenleri yardımıyla en optimum sonucu elde etmeye çalışmasıdır. Şekil 5.13’deki grafik incelendiğinde 1, 2 ve 3. baralardan sonra gerilim değerlerinin başlangıç gerilim değerlerinden düşük olduğu, 25. baradan sonra ise değerlerin yükseldiği görülmektedir. Şekil 5.13 genel anlamda incelendiğinde başlangıç gerilim değerinin hesaplanan gerilim değerinden düşük olduğu çok az sayıda bara olduğu sonucuna ulaşılır.

5.3.1.3 IEEE 118-baralı test sistemi:

IEEE 118-baralı test sistemin başlangıç ve temel değerlerini Çizelge 5.8’de görülmektedir.

Çizelge 5.8: IEEE 118-baralı test sistemi başlangıç değerleri.

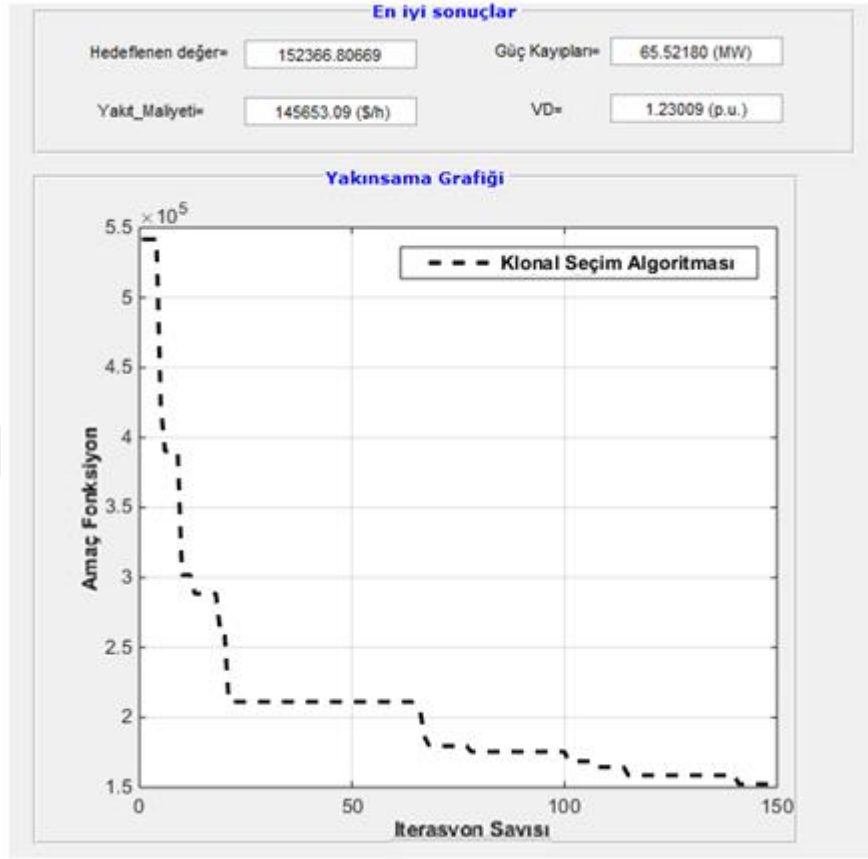
Toplam bara sayısı	118			
Toplam hat sayısı	186			
Toplam jeneratör sayısı	54			
Toplam transformatör sayısı	9			
Şönt kapasitör sayısı	12			
Toplam yüklü bara sayısı	100			
Başlangıç aktif güç kaybı (MW)	132.86			
Başlangıç reaktif güç kaybı (MVar)	783.79			
Çeşitli değişkenlerin limit değerleri				
Jeneratör gerilimi (p.u)	Transformatör oranı (p.u)	Kondansatör kapasitesi (MVAR)	Yük gerilimi (p.u)	
Min	0.95	0.9	0	0.95
Maks	1.1	1.1	30	1.05



Şekil 5.14: İterasyon sayısına göre amaç fonksiyon değerinin değişim grafiği.

Şekil 5.14’de; test sistem olarak IEEE 118-baralı test sistemi, amaçlanan fonksiyon yakıt maliyeti ve algoritma olarak yara iyileşme algoritması seçilip program çalıştıktan sonra elde edilen yakıt maliyeti değerinin iterasyon sayısına göre değişimi görülmektedir. Program sonucunda elde edilen yakıt maliyeti değeri 132129.09 (\$/saat)tır. Şekil 5.14 incelendiğinde özellikle 100. iterasyondan sonra grafiğin

doğrusallaştığı yani optimum sonuç değerinin elde edildiği görülmektedir. Minimum değer program 30 defa çalıştırıldığında elde edilen en küçük değer; diğer bir ifadeyle en optimum değerdir.



Şekil 5.15: İterasyon sayısına göre amaç fonksiyon değerinin değişim grafiği.

Klonal seçim algoritması sonucu elde edilen değer 152366.80 (\$/saat) tir. Yara iyileşme algoritması sonucuyla bu değer kıyaslandığında yara iyileşme algoritmasının 20237,71 (\$/saat) daha iyi bir sonuç elde ettiği görülmektedir. Özellikle büyük güçlü ve jeneratör sayısının çok fazla olduğu sistemlerde bu hesaplanan değer büyük önem taşımaktadır. Santralin yakıt maliyeti değeri kurulum hesaplamaları yapılırken önemli harcama kalemlerinden birisidir ve en optimum değerde tutulmaya çalışılır.

Çizelge 5.9: Optimum kontrol değişkenleri.

Jeneratör aktif güçleri		Jeneratör gerilimleri		Transformatör bilgileri			Şönt kompanzasyonlar	
Bara No	Güç (MW)	Bara No	Gerilim (p.u)	Baradan	Baraya	Kademe Oranı p.u)	Bara No	Güç (MVar)
1	11.0628	1	0.9807	8	5	0.9000	34	30
4	44.7529	4	1.0195	26	25	1.0515	44	21.6407
6	0	6	0.9966	30	17	0.9383	45	21.0330
8	0	8	0.9712	38	37	0.9008	46	30
10	384.7942	10	0.9882	63	59	0.9637	48	27.9433
12	65.8045	12	0.9940	64	61	1.0102	74	19.9909
15	0	15	0.9873	65	66	1.0562	79	2.0407
18	96.8215	18	0.9865	68	69	0.9451	82	0.8005
19	0	19	0.9835	81	80	0.9192	83	0
24	38.4511	24	0.9423				105	13.8125
25	178.3754	25	0.9794				107	0.1130
26	248.5088	26	1.0225				110	0.2973
27	0.9260	27	0.9400					
31	6.9536	31	0.9400					
32	0	32	0.9400					
34	0	34	1.0440					
36	0	36	1.0394					
40	2.7858	40	1.0600					
42	98.0583	42	1.0598					
46	24.0843	46	1.0473					
49	180.2195	49	1.0305					
54	55.0876	54	1.0151					
55	41.1243	55	1.0121					
56	37.3828	56	1.0121					
59	132.6814	59	1.0184					
61	126.0236	61	0.9972					
62	25.9328	62	0.9874					
65	296.1909	65	1.0027					
66	324.9470	66	0.9659					
69	0	69	1.0143					
70	46.9870	70	1.0095					
72	32.5135	72	1.0024					
73	0	73	1.0495					
74	75.0229	74	0.9885					
76	13.6065	76	0.9525					
77	0	77	0.9714					
80	351.6408	80	0.9773					
85	2.8758	85	1.0237					
87	4.7353	87	1.0290					
89	449.0460	89	1.0600					
90	0	90	1.0153					
91	30.2002	91	1.0339					
92	0.4082	92	0.9909					
99	1.9879	99	0.9574					
100	195.0544	100	0.9777					
103	38.9332	103	0.9695					
104	41.9500	104	0.9659					
105	17.0488	105	0.9672					
107	41.3663	107	0.9906					
110	0	110	0.9846					
111	49.3182	111	0.9926					
112	42.7588	112	0.9979					
113	6.6870	113	0.9774					

Çizelge 5.10: Bara başlangıç değerleri ve yara iyileşme algoritması sonucu elde edilen gerilim değerleri.

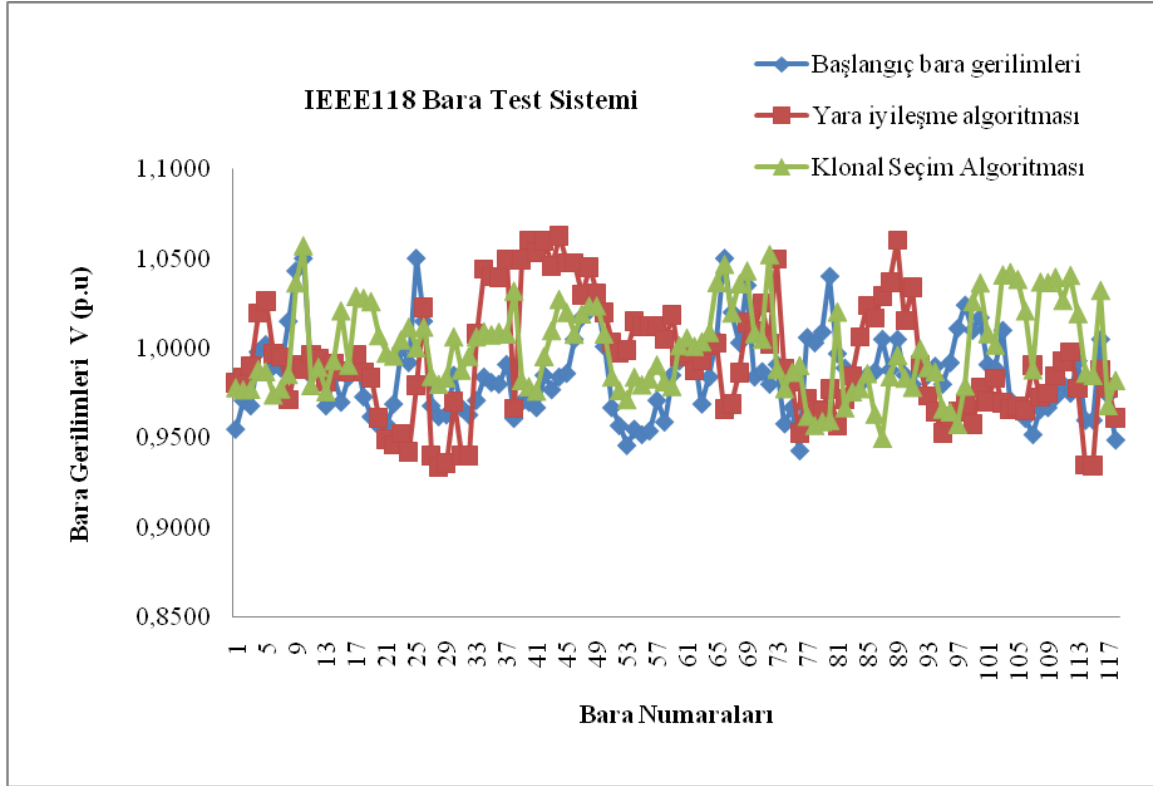
Bara No	Bara gerilimi başlangıç değerleri (p.u)	Yara iyileşme algoritması sonucu elde edilen bara gerilimleri (p.u)	Bara No	Bara gerilimi başlangıç değerleri (p.u)	Yara iyileşme algoritması sonucu elde edilen bara gerilimleri (p.u)	Bara No	Bara gerilimi başlangıç değerleri (p.u)	Yara iyileşme algoritması sonucu elde edilen bara gerilimleri (p.u)
1	0.9550	0.9807	41	0.9670	1.0535	81	0.9970	0.9566
2	0.9710	0.9838	42	0.9850	1.0598	82	0.9890	0.9716
3	0.9680	0.9897	43	0.9770	1.0459	83	0.9840	0.9844
4	0.9980	1.0195	44	0.9840	1.0626	84	0.9800	1.0061
5	1.0020	1.0261	45	0.9860	1.0473	85	0.9850	1.0237
6	0.9900	0.9966	46	1.0050	1.0473	86	0.9870	1.0168
7	0.9890	0.9950	47	1.0170	1.0297	87	1.0050	1.0290
8	1.0150	0.9712	48	1.0210	1.0448	88	0.9880	1.0365
9	1.0430	0.9906	49	1.0250	1.0305	89	1.0050	1.0600
10	1.0500	0.9882	50	1.0010	1.0198	90	0.9850	1.0153
11	0.9850	0.9964	51	0.9670	1.0030	91	0.9800	1.0339
12	0.9900	0.9940	52	0.9570	0.9976	92	0.9900	0.9909
13	0.9680	0.9812	53	0.9460	0.9987	93	0.9850	0.9732
14	0.9840	0.9912	54	0.9550	1.0151	94	0.9900	0.9647
15	0.9700	0.9873	55	0.9520	1.0121	95	0.9800	0.9526
16	0.9840	0.9869	56	0.9540	1.0121	96	0.9920	0.9620
17	0.9950	0.9960	57	0.9710	1.0125	97	1.0110	0.9646
18	0.9730	0.9865	58	0.9590	1.0047	98	1.0240	0.9689
19	0.9620	0.9835	59	0.9850	1.0184	99	1.0100	0.9574
20	0.9570	0.9613	60	0.9930	0.9952	100	1.0170	0.9777
21	0.9580	0.9494	61	0.9950	0.9972	101	0.9910	0.9702
22	0.9690	0.9460	62	0.9980	0.9874	102	0.9890	0.9832
23	1.0000	0.9523	63	0.9690	0.9934	103	1.0100	0.9695
24	0.9920	0.9423	64	0.9840	1.0018	104	0.9710	0.9659
25	1.0500	0.9794	65	1.0050	1.0027	105	0.9650	0.9672
26	1.0150	1.0225	66	1.0500	0.9659	106	0.9610	0.9651
27	0.9680	0.9400	67	1.0200	0.9689	107	0.9520	0.9906
28	0.9620	0.9337	68	1.0030	0.9863	108	0.9660	0.9725
29	0.9630	0.9358	69	1.0350	1.0143	109	0.9670	0.9748
30	0.9850	0.9701	70	0.9840	1.0095	110	0.9730	0.9846
31	0.9670	0.9400	71	0.9870	1.0251	111	0.9800	0.9926
32	0.9630	0.9400	72	0.9800	1.0024	112	0.9750	0.9979
33	0.9710	1.0078	73	0.9910	1.0495	113	0.9930	0.9774
34	0.9840	1.0440	74	0.9580	0.9885	114	0.9600	0.9348
35	0.9810	1.0397	75	0.9670	0.9809	115	0.9600	0.9344
36	0.9800	1.0394	76	0.9430	0.9525	116	1.0050	0.9881
37	0.9910	1.0490	77	1.0060	0.9714	117	0.9740	0.9779
38	0.9610	0.9664	78	1.0030	0.9653	118	0.9490	0.9610
39	0.9700	1.0493	79	1.0090	0.9645			
40	0.9700	1.0600	80	1.0400	0.9773			

Çizelge 5.11: Bara başlangıç değerleri ve klonal seçim algoritması sonucu elde edilen gerilim değerleri.

Bara No	Bara gerilimi başlangıç değerleri (p.u)	Klonal seçim algoritması sonucu elde edilen bara gerilimleri (p.u)	Bara No	Bara gerilimi başlangıç değerleri (p.u)	Klonal seçim algoritması sonucu elde edilen bara gerilimleri (p.u)	Bara No	Bara gerilimi başlangıç değerleri (p.u)	Klonal seçim algoritması sonucu elde edilen bara gerilimleri (p.u)
1	0.9550	0.9784	41	0.9670	0.9764	81	0.9970	1.0205
2	0.9710	0.9771	42	0.9850	0.9957	82	0.9890	0.9671
3	0.9680	0.9774	43	0.9770	1.0101	83	0.9840	0.9760
4	0.9980	0.9885	44	0.9840	1.0275	84	0.9800	0.9778
5	1.0020	0.9872	45	0.9860	1.0203	85	0.9850	0.9862
6	0.9900	0.9744	46	1.0050	1.0081	86	0.9870	0.9636
7	0.9890	0.9776	47	1.0170	1.0194	87	1.0050	0.9501
8	1.0150	0.9856	48	1.0210	1.0238	88	0.9880	0.9844
9	1.0430	1.0367	49	1.0250	1.0239	89	1.0050	0.9964
10	1.0500	1.0574	50	1.0010	1.0082	90	0.9850	0.9835
11	0.9850	0.9796	51	0.9670	0.9842	91	0.9800	0.9786
12	0.9900	0.9897	52	0.9570	0.9768	92	0.9900	1.0000
13	0.9680	0.9761	53	0.9460	0.9717	93	0.9850	0.9896
14	0.9840	0.9933	54	0.9550	0.9842	94	0.9900	0.9873
15	0.9700	1.0211	55	0.9520	0.9799	95	0.9800	0.9665
16	0.9840	0.9909	56	0.9540	0.9832	96	0.9920	0.9648
17	0.9950	1.0292	57	0.9710	0.9910	97	1.0110	0.9579
18	0.9730	1.0281	58	0.9590	0.9816	98	1.0240	0.9793
19	0.9620	1.0263	59	0.9850	0.9790	99	1.0100	1.0262
20	0.9570	1.0073	60	0.9930	1.0017	100	1.0170	1.0367
21	0.9580	0.9975	61	0.9950	1.0060	101	0.9910	1.0085
22	0.9690	0.9960	62	0.9980	1.0014	102	0.9890	1.0021
23	1.0000	1.0049	63	0.9690	1.0039	103	1.0100	1.0412
24	0.9920	1.0120	64	0.9840	1.0092	104	0.9710	1.0425
25	1.0500	1.0006	65	1.0050	1.0370	105	0.9650	1.0386
26	1.0150	1.0121	66	1.0500	1.0470	106	0.9610	1.0211
27	0.9680	0.9847	67	1.0200	1.0200	107	0.9520	0.9883
28	0.9620	0.9802	68	1.0030	1.0362	108	0.9660	1.0372
29	0.9630	0.9838	69	1.0350	1.0434	109	0.9670	1.0369
30	0.9850	1.0066	70	0.9840	1.0085	110	0.9730	1.0398
31	0.9670	0.9882	71	0.9870	1.0052	111	0.9800	1.0269
32	0.9630	0.9958	72	0.9800	1.0525	112	0.9750	1.0409
33	0.9710	1.0067	73	0.9910	0.9885	113	0.9930	1.0196
34	0.9840	1.0095	74	0.9580	0.9779	114	0.9600	0.9863
35	0.9810	1.0078	75	0.9670	0.9869	115	0.9600	0.9851
36	0.9800	1.0092	76	0.9430	0.9907	116	1.0050	1.0325
37	0.9910	1.0083	77	1.0060	0.9625	117	0.9740	0.9684
38	0.9610	1.0322	78	1.0030	0.9573	118	0.9490	0.9824
39	0.9700	0.9824	79	1.0090	0.9595			
40	0.9700	0.9789	80	1.0400	0.9602			

Çizelge 5.9’da görüldüğü gibi yara iyileşme algoritması sonucu elde edilen gerilim değerleri Çizelge 5.8’de verilen sınır değerler içerisinde. Çizelge 5.10’da geliştirilen yara iyileştirme algoritması sonucu elde edilen bara gerilim değerleri ile başlangıç bara gerilim değerlerinin kıyaslandığı çizelge görülmektedir. Çizelge 5.11’de

klonal seçim algoritması sonucu elde edilen değerler ile başlangıç bara gerilimleri kıyaslanmıştır. Elde edilen bara gerilimi değerlerinin başlangıç gerilimleri ile karşılaştırılması Şekil 5.16’da verilmiştir.

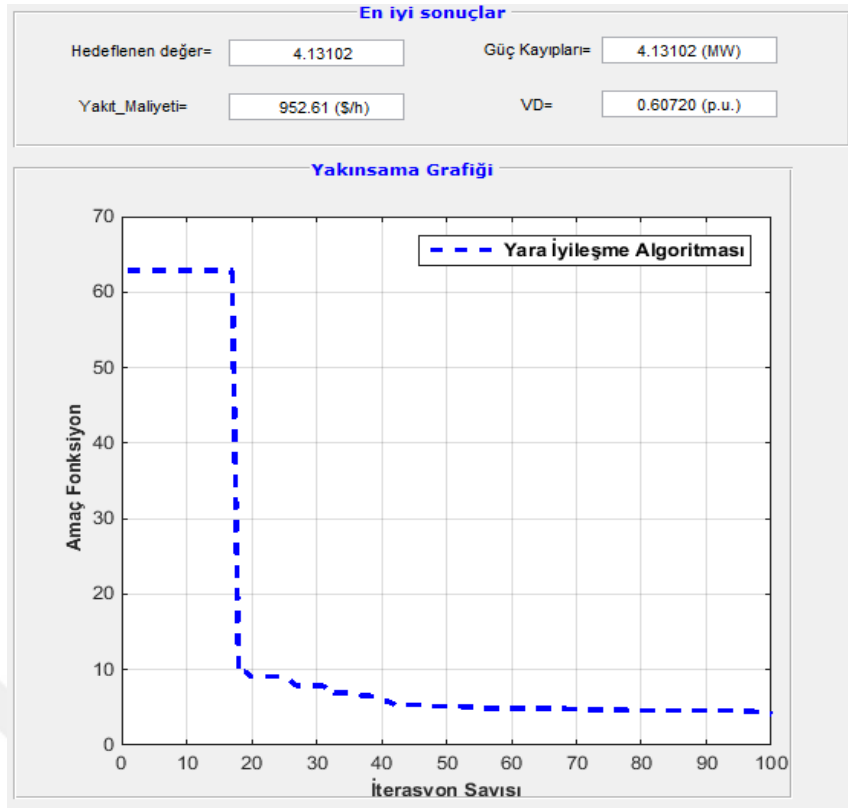


Şekil 5.16: Başlangıç gerilim değerleri ile elde edilen gerilim değerlerinin karşılaştırılması.

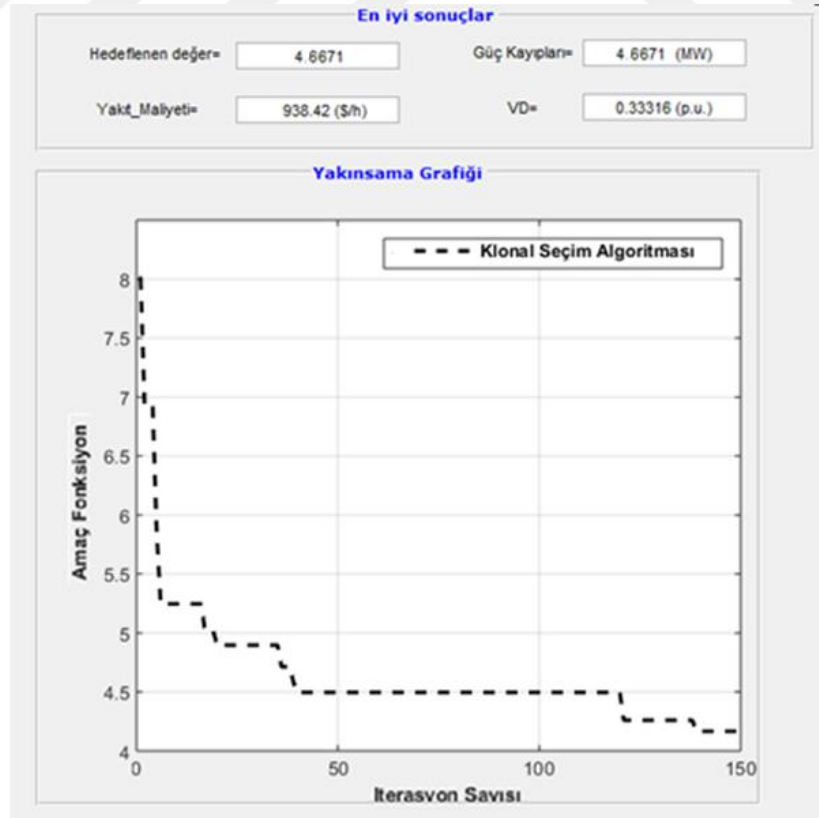
5.3.2 Güç kayıpları fonksiyonu:

5.3.2.1 IEEE 30-baralı test sistemi:

Oyamatlab programında hedeflenen fonksiyon olarak güç kayıpları fonksiyonu da seçilebilir. Güç kayıpları fonksiyonu ile ilgili detaylı bilgi Bölüm 3’te verilmiştir. Hedeflenen fonksiyon güç kayıpları, optimizasyon algoritması tezde geliştirilen yara iyileşme algoritması ve test sistem olarak IEEE 30-baralı test sistemi seçilip program çalıştırıldığında aşağıdaki sonuçlar elde edilmektedir.



Şekil 5.17: İterasyon sayısına göre amaç fonksiyon değerinin değişim grafiği.



Şekil 5.18: İterasyon sayısına göre amaç fonksiyon değerinin değişim grafiği.

Şekil 5.17 incelendiğinde yara iyileşme algoritması sonucu elde edilen güç kaybı değerinin 4,1310 MW olduğu görülmektedir. Fakat Şekil 5.18’de görüldüğü gibi klonal seçim algoritması sonucu elde edilen güç kaybı değeri 4,6671 MW’tır. Yani tezde geliştirilen yara iyileşme algoritması klonal seçim algoritmasına göre 0,5361 MW daha az bir güç kaybı değeri hesaplamıştır. Bara sistemlerindeki en önemli sorunlardan birisi de hatlarda meydana gelen kayıplardır. Hat kayıpları optimizasyon algoritmaları kullanılarak azaltılabilmektedir. Tez aşamasında geliştirilen yara iyileşme algoritması Çizelge 5.12’de görüldüğü gibi literatürdeki diğer algoritmalarla karşılaştırılabilir. Çizelge 5.12 de kontrol değişkenlerinin değerleri de görülmektedir. Kontrol değişkenleri olarak jeneratör gerilimleri, transformatör kademe ayarı, kapasitör değerleri kullanılır.

Çizelge 5.12: Yara iyileşme algoritması sonucu elde edilen güç kaybı değerinin diğer algoritmalarla karşılaştırılması.

Kontrol Değişkenleri	Yara iyileşme algoritması	OGSA [76]	DE [77]	GSA [78]	BBO [79]	PSO [80]	CSA
Jeneratör gerilimi (p.u)							
V ₁	1.0615	1.0500	1.1000	1.0716	1.1000	1.1000	1.0552
V ₂	1.0574	1.0410	1.0931	1.0221	1.0944	1.1000	1.0498
V ₅	1.0378	1.0154	1.0736	1.0400	1.0749	1.0867	1.0319
V ₈	1.0447	1.0267	1.0756	1.0507	1.0768	1.1000	1.0293
V ₁₁	1.0760	1.0082	1.1000	0.9771	1.0990	1.1000	1.0950
V ₁₃	1.0527	1.0500	1.1000	0.9676	1.0990	1.1000	1.0256
Transformatör kademe ayarı (p.u)							
T ₆₋₉	1.0226	1.0585	1.0465	1.0984	1.0435	0.9587	1.0547
T ₆₋₁₀	0.9979	0.9089	0.9097	0.9824	0.9011	1.0543	1.0248
T ₄₋₁₂	1.0842	1.0141	0.9867	1.0959	0.9824	1.0024	0.9797
T ₂₈₋₂₇	0.9698	1.0182	0.9689	1.0593	0.9691	0.9755	0.9891
Kapasitör değerleri (MVar)							
Q _{c-10}	0.0000	3.3000	5.0000	1.6537	4.9998	4.2803	0.3813
Q _{c-12}	5.0000	2.4900	5.0000	4.3722	4.9870	5.0000	4.9032
Q _{c-15}	4.0766	1.7700	5.0000	0.1199	4.9906	3.0288	1.8925
Q _{c-17}	0.0000	5.0000	5.0000	2.0876	4.9970	4.0365	4.2964
Q _{c-20}	0.0000	3.3400	4.4060	0.3577	4.9901	2.6697	4.4826
Q _{c-21}	0.0000	4.0300	5.0000	0.2602	4.9946	3.8894	0.7566
Q _{c-23}	0.0000	2.6900	2.8004	0.0000	3.8753	0.0000	2.3437
Q _{c-24}	3.0756	5.0000	5.0000	1.3839	4.9867	3.5879	4.5959
Q _{c-29}	5.0000	1.9400	2.5979	0.0003	2.9098	2.8415	3.1264
P_{kayıp} (MW)	4.1310	4.4984	4.5550	4.5143	4.5511	4.6282	4.6671

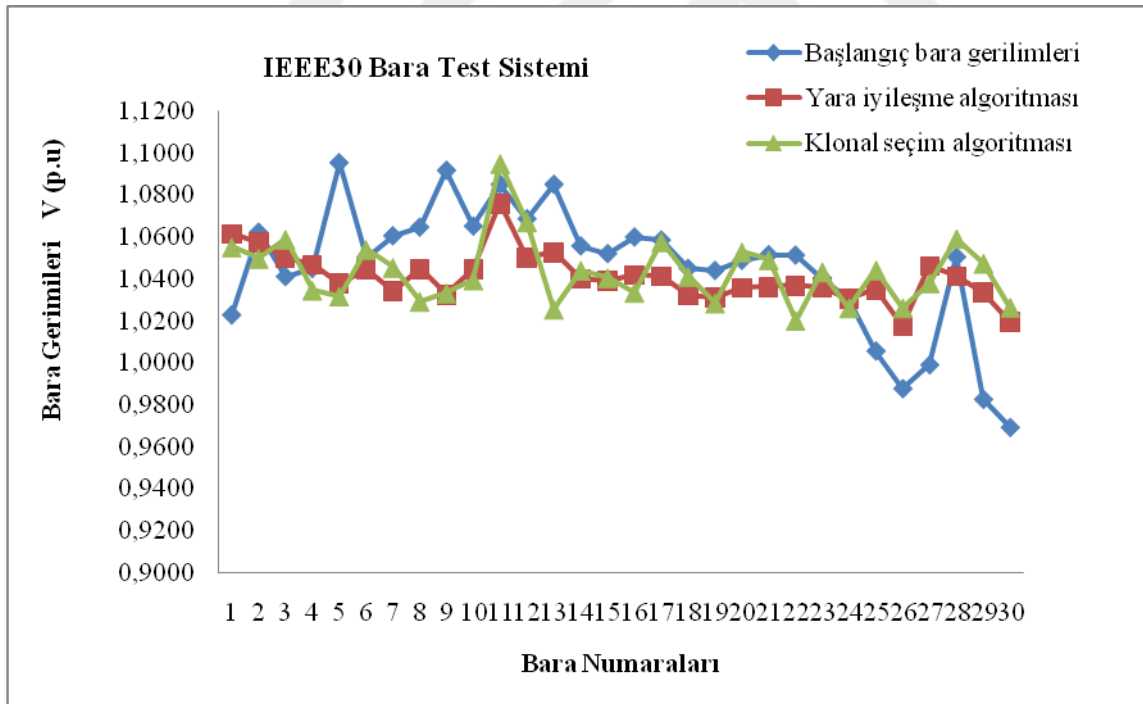
Çizelge 5.4 incelediğinde optimizasyon işlemi yapılmadan önce sistemdeki güç kaybı 5.811 MW'dır. Algoritmanın Matlab GUI ortamında yazılan programında elde edilen kontrol değişkenlerinin optimum değerleri Çizelge 5.12'de verilmiştir. Geliştirilen algoritmanın sonuçları DE, GSA, BBO, PSO, OGSA ve CSA algoritmalarıyla karşılaştırılmıştır. Kıyaslama yapılan algoritmaların sonuçları ilgili referanslardan elde edilmiştir. Yara iyileşme algoritmasında bulunan en iyi optimize güç kaybı değeri $P_{kayıp}$ **4,1310 MW** olarak bulunmuştur. Çizelge 5.12'de verilen algoritmalar içinde en iyi değere sahip OGSA algoritmasının $P_{kayıp}$ değeri 4.4984 MW tır. Geliştirilen algoritmanın sonucu bu değere göre **0,3674 MW** daha iyi bir değerdir ve **% 8.16** oranında daha az güç kaybı olacak şekilde akıllı şebeke optimizasyonu sağlanmıştır. IEEE 30-baralı test sisteminin başlangıç güç kaybı 5,811 MW dır ve bu değer yara iyileşme algoritması sonucunda 4,1310 MW değerine düşmüştür. Güç kaybı değerinde 1,68 MW ve %28,91 oranında azalma meydana gelmiştir.

Çizelge 5.13: Bara başlangıç değerleri ve yara iyileşme algoritması sonucu elde edilen değerler.

Bara No	Bara gerilimi başlangıç değerleri (p.u)	Yara iyileşme algoritması sonucu elde edilen bara gerilimleri (p.u)	Bara No	Bara gerilimi başlangıç değerleri (p.u)	Yara iyileşme algoritması sonucu elde edilen bara gerilimleri (p.u)
1	1.0228	1.0615	16	1.0599	1.0419
2	1.0622	1.0574	17	1.0585	1.0412
3	1.0411	1.0500	18	1.0450	1.0321
4	1.0449	1.0467	19	1.0440	1.0310
5	1.0953	1.0378	20	1.0488	1.0358
6	1.0503	1.0445	21	1.0515	1.0361
7	1.0605	1.0342	22	1.0513	1.0367
8	1.0646	1.0447	23	1.0404	1.0360
9	1.0917	1.0325	24	1.0305	1.0306
10	1.0651	1.0445	25	1.0056	1.0349
11	1.0850	1.0760	26	0.9877	1.0175
12	1.0686	1.0500	27	0.9990	1.0462
13	1.0850	1.0527	28	1.0504	1.0411
14	1.0557	1.0401	29	0.9826	1.0336
15	1.0520	1.0391	30	0.9692	1.0196

Çizelge 5.14: Bara başlangıç değerleri ve klonal seçim algoritması sonucu elde edilen değerler.

Bara No	Bara gerilimi başlangıç değerleri (p.u)	Klonal seçim algoritması sonucu elde edilen bara gerilimleri (p.u)	Bara No	Bara gerilimi başlangıç değerleri (p.u)	Klonal seçim algoritması sonucu elde edilen bara gerilimleri (p.u)
1	1.0228	1.0552	16	1.0599	1.0336
2	1.0622	1.0498	17	1.0585	1.0577
3	1.0411	1.0589	18	1.0450	1.0412
4	1.0449	1.0346	19	1.0440	1.0285
5	1.0953	1.0319	20	1.0488	1.0528
6	1.0503	1.0540	21	1.0515	1.0491
7	1.0605	1.0455	22	1.0513	1.0202
8	1.0646	1.0293	23	1.0404	1.0434
9	1.0917	1.0333	24	1.0305	1.0263
10	1.0651	1.0395	25	1.0056	1.0443
11	1.0850	1.0950	26	0.9877	1.0263
12	1.0686	1.0672	27	0.9990	1.0381
13	1.0850	1.0256	28	1.0504	1.0592
14	1.0557	1.0441	29	0.9826	1.0475
15	1.0520	1.0406	30	0.9692	1.0265

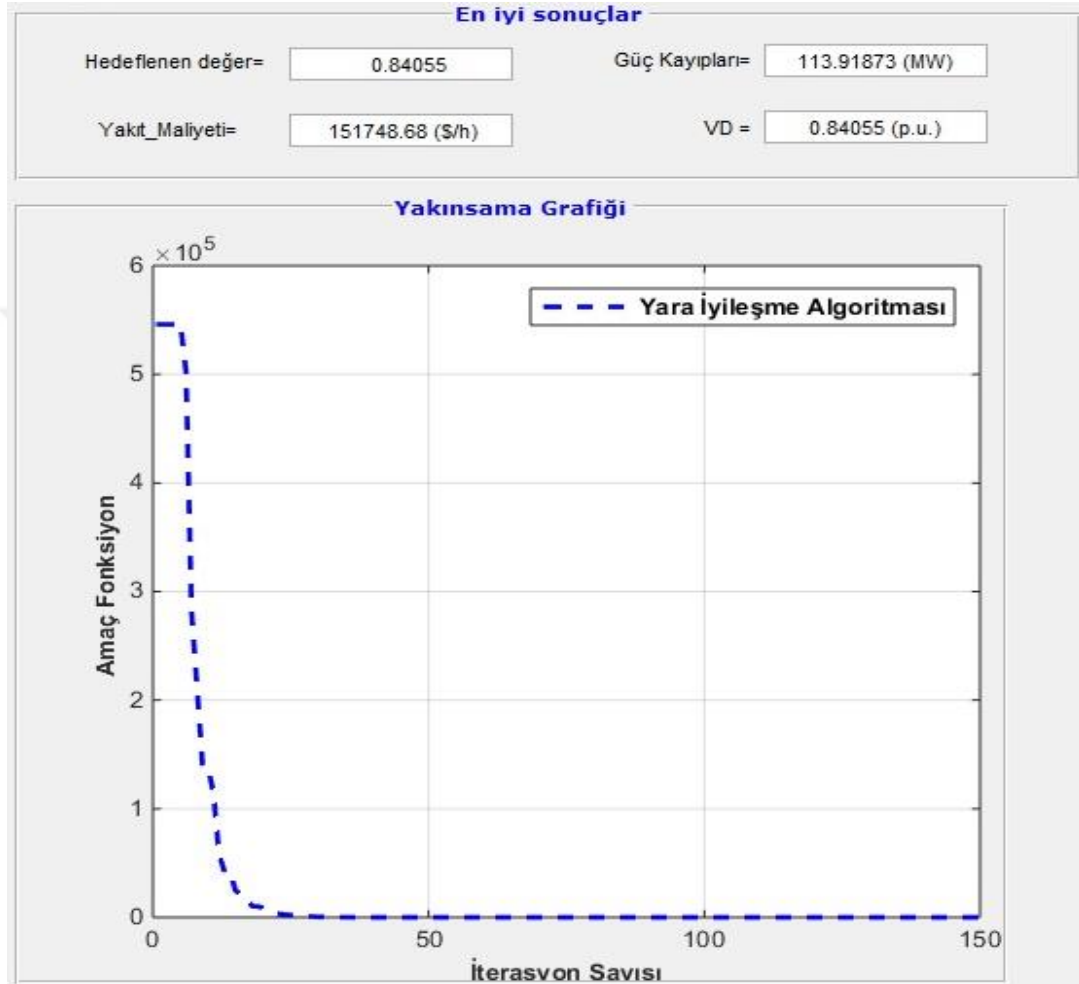


Şekil 5.19: Başlangıç gerilim değerleri ile elde edilen gerilim değerlerinin karşılaştırılması.

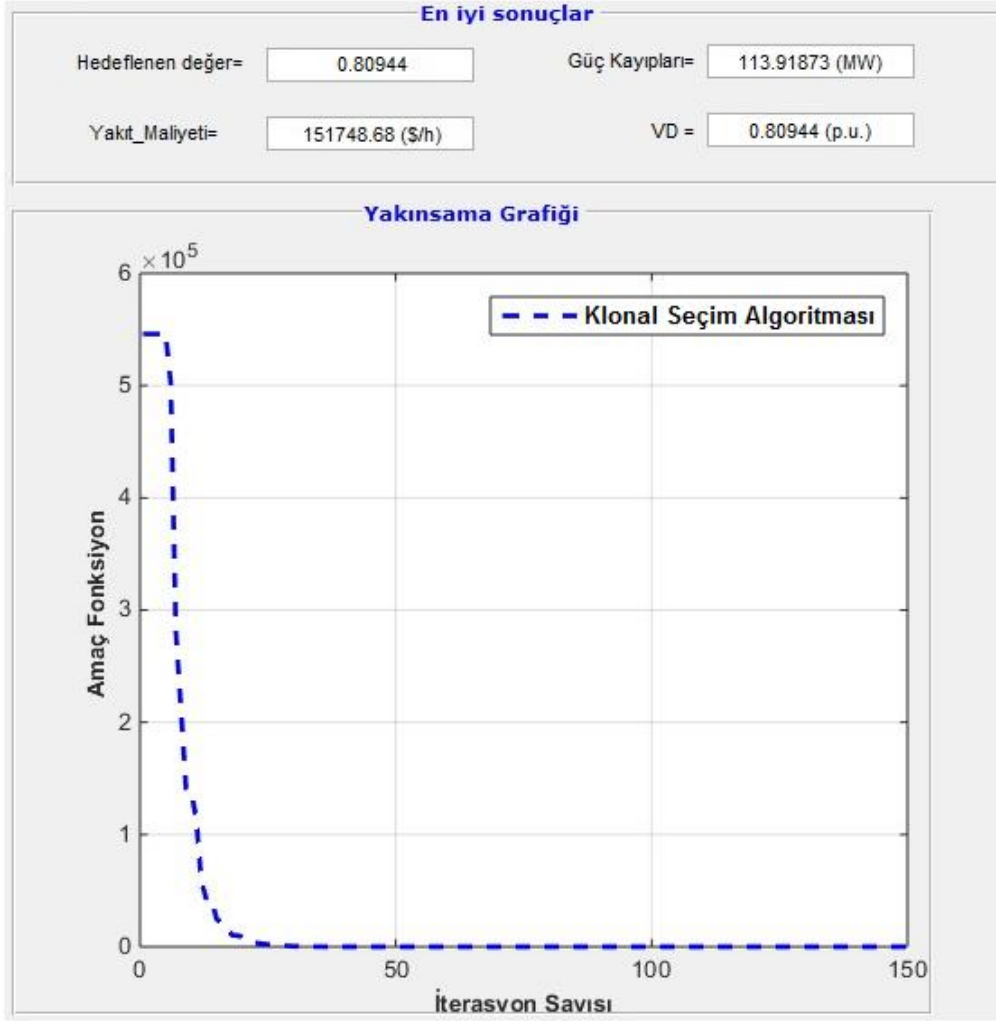
5.3.3 Gerilim profilini iyileştirme:

5.3.3.1 IEEE 118-baralı test sistemi:

Hedeflenen fonksiyon gerilim ayarı ve test sistem olarak IEEE 118-baralı test sistemi seçilip program çalıştırıldığında aşağıdaki sonuçlar elde edilmektedir.



Şekil 5.20: İterasyon sayısına göre amaç fonksiyon değerinin değişim grafiği.



Şekil 5.21: İterasyon sayısına göre amaç fonksiyon değerinin değişim grafiği.

Şekil 5.20 ve 5.21 incelendiğinde yara iyileşme algoritması sonucu elde edilen gerilim değeri 0.84055 V (p.u), klonal seçim algoritması sonucu elde edilen gerilim değeri 0,800944 V (p.u) olarak hesaplanmıştır. Yakıt maliyetinin azaltılması ile yük baralarının gerilim değerlerindeki sapmaları düzeltme ve referans olarak belirlenen 1.0 p.u. değerine mutlak değer bazında mümkün olduğunca yaklaştırmanın bir arada gerçekleştirilmesinin amaç edinildiği durumda, her bir yük barasının hedeften sapmayı veren mutlak değerleri toplamı güç sisteminin gerilim profili düzeyini göstermektedir. Referans değere yakınsamanın fazla olması, bir başka deyişle yük baraları gerçek değerleri ile referans arasındaki farkın kümülatif toplamının sıfıra yakınlığı, yük baralarının birbirine ve referans değere yakın gerilim düzeyinde olduğunu ifade etmektedir.

Çizelge 5.15: Optimum kontrol değişkenleri.

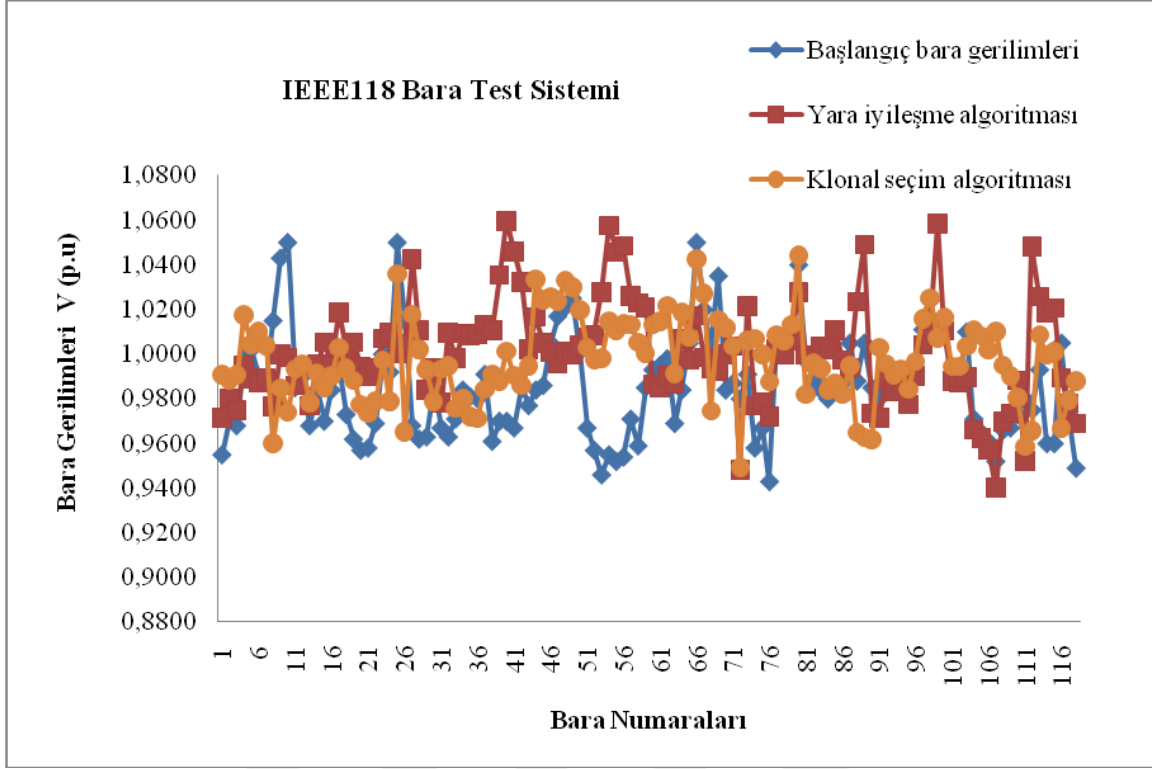
Jeneratör aktif güçleri		Jeneratör gerilimleri		Transformatör bilgileri			Şönt kompanzasyonlar	
Bara No	Güç (MW)	Bara No	V (p.u)	Baradan	Baraya	Kademe Oranı p.u)	Bara No	Güç(MVar)
1	100	1	0.9716	8	5	1.0011	34	30
4	70.9056	4	0.9951	26	25	1.0186	44	18.4963
6	83.6038	6	0.9874	30	17	0.9535	45	17.1831
8	21.1521	8	0.9765	38	37	0.9993	46	0
10	350.0718	10	0.9986	63	59	0.9392	48	3.8156
12	73.5913	12	0.9940	64	61	1.0632	74	26.0412
15	55.0022	15	1.0053	65	66	0.9508	79	14.6420
18	51.9528	18	1.0012	68	69	0.9868	82	12.3871
19	96.0836	19	1.0053	81	80	0.9689	83	27.4358
24	23.8657	24	1.0095				105	19.9404
25	112.0544	25	1.004				107	19.6102
26	164.8662	26	1.0044				110	17.6262
27	30.9010	27	1.0427					
31	72.8844	31	0.9782					
32	26.4980	32	1.0095					
34	0	34	1.0093					
36	50.5884	36	1.0090					
40	71.7409	40	1.0499					
42	57.5130	42	1.0324					
46	8.7828	46	1.0009					
49	202.9172	49	0.9997					
54	0	54	1.0578					
55	47.5678	55	1.0459					
56	44.9966	56	1.0486					
59	57.4198	59	1.0210					
61	45.9681	61	0.9848					
62	64.3620	62	0.9902					
65	431.5299	65	0.9973					
66	71.5777	66	1.0174					
69	0	69	0.9924					
70	57.3134	70	0.9998					
72	38.4167	72	0.9480					
73	37.4588	73	1.0217					
74	25.0019	74	0.9770					
76	95.0540	76	0.9720					
77	40.2050	77	1.0024					
80	154.2676	80	1.0278					
85	0	85	1.0108					
87	28.2366	87	0.9939					
89	484.7889	89	1.0492					
90	35.2252	90	0.9734					
91	53.5800	91	0.9714					
92	11.4976	92	0.9885					
99	19.1681	99	1.0587					
100	118.0991	100	1.0106					
103	71.8373	103	0.9898					
104	41.4823	104	0.9660					
105	35.4098	105	0.9622					
107	5.3058	107	0.9400					
110	55.5746	110	0.9882					
111	110.6358	111	0.9521					
112	54.5995	112	1.0485					
113	41.1979	113	1.0260					

Çizelge 5.16: Bara başlangıç değerleri ve yara iyileşme algoritması sonucu elde edilen değerler.

Bara No	Bara gerilimi başlangıç değerleri (p.u)	Yara iyileşme algoritması sonucu elde edilen bara gerilimleri (p.u)	Bara No	Bara gerilimi başlangıç değerleri (p.u)	Yara iyileşme algoritması sonucu elde edilen bara gerilimleri (p.u)	Bara No	Bara gerilimi başlangıç değerleri (p.u)	Yara iyileşme algoritması sonucu elde edilen bara gerilimleri (p.u)
1	0.9550	0.9716	41	0.9670	1.0461	81	0.9970	0.9997
2	0.9710	0.9802	42	0.9850	1.0324	82	0.9890	0.9982
3	0.9680	0.9749	43	0.9770	1.0021	83	0.9840	1.0034
4	0.9980	0.9951	44	0.9840	1.0168	84	0.9800	1.0023
5	1.0020	0.9890	45	0.9860	1.0050	85	0.9850	1.0108
6	0.9900	0.9874	46	1.0050	1.0009	86	0.9870	0.9974
7	0.9890	0.9892	47	1.0170	0.9957	87	1.0050	0.9939
8	1.0150	0.9765	48	1.0210	1.0012	88	0.9880	1.0237
9	1.0430	1.0000	49	1.0250	0.9997	89	1.0050	1.0492
10	1.0500	0.9986	50	1.0010	1.0038	90	0.9850	0.9734
11	0.9850	0.9861	51	0.9670	1.0077	91	0.9800	0.9714
12	0.9900	0.9940	52	0.9570	1.0085	92	0.9900	0.9885
13	0.9680	0.9770	53	0.9460	1.0279	93	0.9850	0.9834
14	0.9840	0.9955	54	0.9550	1.0478	94	0.9900	0.9865
15	0.9700	1.0053	55	0.9520	1.0459	95	0.9800	0.9774
16	0.9840	0.9941	56	0.9540	1.0486	96	0.9920	0.9903
17	0.9950	1.0188	57	0.9710	1.0261	97	1.0110	1.0042
18	0.9730	1.0012	58	0.9590	1.0229	98	1.0240	1.0123
19	0.9620	1.0053	59	0.9850	1.0210	99	1.0100	1.0587
20	0.9570	0.9941	60	0.9930	0.9865	100	1.0170	1.0106
21	0.9580	0.9899	61	0.9950	0.9848	101	0.9910	0.9881
22	0.9690	0.9937	62	0.9980	0.9902	102	0.9890	0.9875
23	1.0000	1.0072	63	0.9690	0.9866	103	1.0100	0.9898
24	0.9920	1.0095	64	0.9840	1.0069	104	0.9710	0.9660
25	1.0500	1.0004	65	1.0050	0.9973	105	0.9650	0.9622
26	1.0150	1.0044	66	1.0500	1.0174	106	0.9610	0.9573
27	0.9680	1.0427	67	1.0200	0.9984	107	0.9520	0.9400
28	0.9620	1.0109	68	1.0030	0.9936	108	0.9660	0.9698
29	0.9630	0.9840	69	1.0350	0.9924	109	0.9670	0.9734
30	0.9850	0.9937	70	0.9840	0.9998	110	0.9730	0.9882
31	0.9670	0.9782	71	0.9870	1.0036	111	0.9800	0.9521
32	0.9650	1.0095	72	0.9800	0.9480	112	0.9750	1.0485
33	0.9710	0.9981	73	0.9910	1.0217	113	0.9930	1.0260
34	0.9840	1.0093	74	0.9580	0.9770	114	0.9600	1.0188
35	0.9810	1.0084	75	0.9670	0.9783	115	0.9600	1.0208
36	0.9800	1.0090	76	0.9430	0.9720	116	1.0050	0.9895
37	0.9910	1.0131	77	1.0060	1.0024	117	0.9740	0.9779
38	0.9610	1.0108	78	1.0030	0.9998	118	0.9490	0.9690
39	0.9700	1.0355	79	1.0090	1.0061			
40	0.9700	1.0499	80	1.0400	1.0278			

Çizelge 5.17: Bara başlangıç değerleri ve klonal seçim algoritması sonucu elde edilen değerler.

Bara No	Bara gerilimi başlangıç değerleri (p.u)	Klonal seçim algoritması sonucu elde edilen bara gerilimleri (p.u)	Bara No	Bara gerilimi başlangıç değerleri (p.u)	Klonal seçim algoritması sonucu elde edilen bara gerilimleri (p.u)	Bara No	Bara gerilimi başlangıç değerleri (p.u)	Klonal seçim algoritması sonucu elde edilen bara gerilimleri (p.u)
1	0.9550	0.9909	41	0.9670	0.9905	81	0.9970	0.9820
2	0.9710	0.9887	42	0.9850	0.9860	82	0.9890	0.9958
3	0.9680	0.9908	43	0.9770	0.9947	83	0.9840	0.9938
4	0.9980	1.0175	44	0.9840	1.0333	84	0.9800	0.9839
5	1.0020	1.0044	45	0.9860	1.0242	85	0.9850	0.9871
6	0.9900	1.0100	46	1.0050	1.0256	86	0.9870	0.9820
7	0.9890	1.0039	47	1.0170	1.0236	87	1.0050	0.9949
8	1.0150	0.9601	48	1.0210	1.0331	88	0.9880	0.9651
9	1.0430	0.9850	49	1.0250	1.0301	89	1.0050	0.9628
10	1.0500	0.9741	50	1.0010	1.0198	90	0.9850	0.9621
11	0.9850	0.9934	51	0.9670	1.0030	91	0.9800	1.0030
12	0.9900	0.9956	52	0.9570	0.9976	92	0.9900	0.9957
13	0.9680	0.9784	53	0.9460	0.9983	93	0.9850	0.9909
14	0.9840	0.9918	54	0.9550	1.0146	94	0.9900	0.9933
15	0.9700	0.9851	55	0.9520	1.0105	95	0.9800	0.9843
16	0.9840	0.9903	56	0.9540	1.0134	96	0.9920	0.9967
17	0.9950	1.0031	57	0.9710	1.0133	97	1.0110	1.0156
18	0.9730	0.9938	58	0.9590	1.0053	98	1.0240	1.0252
19	0.9620	0.9883	59	0.9850	1.0006	99	1.0100	1.0074
20	0.9570	0.9775	60	0.9930	1.0133	100	1.0170	1.0162
21	0.9580	0.9736	61	0.9950	1.0147	101	0.9910	0.9946
22	0.9690	0.9788	62	0.9980	1.0218	102	0.9890	0.9946
23	1.0000	0.9973	63	0.9690	0.9915	103	1.0100	1.0037
24	0.9920	0.9790	64	0.9840	1.0187	104	0.9710	1.0110
25	1.0500	1.0358	65	1.0050	1.0076	105	0.9650	1.0081
26	1.0150	0.9653	66	1.0500	1.0423	106	0.9610	1.0020
27	0.9680	1.0178	67	1.0200	1.0272	107	0.9520	1.0101
28	0.9620	1.0022	68	1.0030	0.9747	108	0.9660	0.9952
29	0.9630	0.9932	69	1.0350	1.0155	109	0.9670	0.9902
30	0.9850	0.9790	70	0.9840	1.0117	110	0.9730	0.9808
31	0.9670	0.9933	71	0.9870	1.0037	111	0.9800	0.9589
32	0.9650	0.9947	72	0.9800	0.9501	112	0.9750	0.9661
33	0.9710	0.9759	73	0.9910	1.0062	113	0.9930	1.0087
34	0.9840	0.9801	74	0.9580	1.0070	114	0.9600	0.9996
35	0.9810	0.9723	75	0.9670	0.9999	115	0.9600	1.0009
36	0.9800	0.9714	76	0.9430	0.9877	116	1.0050	0.9669
37	0.9910	0.9844	77	1.0060	1.0084	117	0.9740	0.9796
38	0.9610	0.9907	78	1.0030	1.0061	118	0.9490	0.9879
39	0.9700	0.9880	79	1.0090	1.0132			
40	0.9700	1.0014	80	1.0400	1.0442			



Şekil 5.23: Başlangıç gerilim değerleri ile elde edilen gerilim değerlerinin karşılaştırılması.

Şekil 5.23’de başlangıç bara gerilimleri ile yara iyileşme ve klonal seçim algoritması sonucu elde edilen gerilim değerleri grafiksel olarak görülmektedir. Bir yük barasının bile, limit değerler olan 0.95 p.u. değerinden daha az ya da 1.05 p.u. değerinden daha fazla gerilimle yüklenmesi halinde optimal güç akışı gerçekleşmemiş olacaktır. Hem yara iyileşme algoritması hem de klonal seçim algoritması sonucu elde edilen yük barası gerilim değerleri izin verilen sınırlar içerisinde hesaplanmıştır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sistem işletmeciliği ve kontrolündeki karmaşıklık ve belirsizlikler nedeniyle günümüzde güç sistemi güvenliği büyük bir endişe kaynağıdır. Merkezi elektrik üretimi, talep tarafı yönetimi ve tek yönlü elektriksel iletim günümüz enerji ihtiyaçlarına yeterince cevap veremediği için elektrik şebekelerine günümüzün bilgisayar ve ağ teknolojileri entegre edilerek akıllı şebeke sistemleri oluşturulmuştur. Elektrik şebekesinin her noktasının adaptif, tepkili, maliyet açısından uygun, eş-zamanlı ve diğer elektriksel güç sistemleriyle bağlanabilen yapıda olması akıllı şebeke yapısının temel omurgasını teşkil etmektedir. Akıllı şebekeler gerçek zamanlı haberleşme altyapısı ile aşırı yüklenmeleri hissedebilecek, enerji akış yönlerini düzenleyecek, yenilenebilir enerji kaynakları kullanımını optimize edebilecek ve kullanıcı maliyetlerini düşürecek bir yapıya sahiptir. Akıllı şebeke vizyonu, güç sistemini gelişmiş ölçüm teknolojileri, geniş alan iletişimi ve otomatik kontrollerle iyi bir şekilde entegre olan bir şebekeye doğru geliştirmeyi amaçlamaktadır.

Bu tez çalışmasında akıllı şebeke kavramları tanıtılmış, dünyadaki farklı uygulamalar göz önünde bulundurularak akıllı şebekede gelinen en son durum özetlenmeye çalışılmış ve klonal seçim ilkesi tabanlı yara iyileşme algoritması geliştirilerek akıllı şebekede optimizasyon işlemi yapılmıştır. Akıllı şebekeler kavramı son yıllarda ön plana çıkan bir kavram olmuştur. Türkiye’de ve Dünya’da uygulanabilirliği ile ilgili araştırma yapılmış ve tezde verilmiştir. Özellikle akıllı şebeke yatırımlarının maliyet açısından yüksek olduğu göz önüne alınırsa yatırımların uzun vadelere yayıldığı görülmektedir. Bundan dolayı verimlilik, sürdürülebilirlik ve şu anki güncel şebekeye entegrasyon süreci önemli analizler sonucunda belirlenmelidir. Optimizasyon işlemi sonucunda modellenecek şebekede güç kayıplarının, yakıt maliyetlerinin ve gerilim ayarlarının optimum şekilde yapılması gerekmektedir. Bu nedenle önerilen algoritmanın gerçekte kullanılabilir sonuçlar vermesi ve ideal durumun yanında, uygulanması mümkün olan en iyi optimizasyonu sunması da büyük önem taşımaktadır. Bunları elde edebilmek için, tez çalışması boyunca geliştirilen programda kullanılan meta-sezgisel algoritmalar titizlikle seçilmiştir. Bunu başarabilmek için detaylı literatür taraması yapılarak ateş böceği, yapay arı kolonisi ve guguk kuşu algoritmaları tespit edilmiştir. Tez boyunca geliştirilen yara iyileşme algoritması klonal seçim algoritması tabanlıdır. Bu yüzden klonal seçim algoritması kodları da geliştirilen Matlab GUI programına eklenmiştir. Yani program ateş böceği, yapay arı kolonisi, guguk kuşu,

klonal seçim ve yara iyileşme algoritmalarını kullanmaktadır. Program sonucunda elde edilen değerlere bakıldığında geliştirilen yara iyileşme algoritması diğer algoitmalara göre daha optimum sonuçlar elde etmiştir. Algoritma bu sayede IEEE test sistemlerine uygulanarak iyileştirmeleri hesaplayabilmektedir.

Önerilen yara iyileşme algoritması IEEE 30-baralı test sisteminde güç kayıplarını 5.811 MW başlangıç değerinden 4.131 MW değerine düşürmüştür. Böylece yaklaşık %29 oranında daha az bir güç kaybı elde edilmiştir. Ayrıca IEEE 30-baralı test sisteminde yakıt maliyeti değerini 901 (\$/h) dan 800,52 (\$/h)'a indirmiştir. Bu da yaklaşık %11,15 daha az bir yakıt maliyeti değeridir. Sabit yükler üzerinde test edilen yara iyileşme algoritması diğer meta-sezgisel algoritmalarla göre daha iyi sonuçlar vermiştir.

Gelecekteki çalışmalar için aşağıdaki önerilerde bulunulabilir:

- Çeşitli arıza senaryoları ve özel yükler tanımlanarak, akıllı şebekelerdeki sistemlerde olabilecek tüm kritik durumların analiz edilebileceği ve optimum sonuçların elde edilebileceği oldukça faydalı ve kapsamlı bir çalışma için bir optimum dağıtım planlama platformu için bir temel oluşturabilir.
- Özellikle akıllı şebeke bileşenlerinin şebekede daha etkin kullanımı ile yeni uygulama potansiyellerini de beraberinde getirebilir.
- Matlab GUI ortamında geliştirilen programa diğer meta-sezgisel algoritma kodları ve daha farklı bara sistemleri ya da verileri alınabilecekse Türkiye şebekesinden örnek bara sistemleri programa eklenerek daha çeşitli ve farklı sonuçlar elde edilebilir.
- Program sonucunda elde edilen sonuçlar, bara sisteminin anlık değerleri olarak hesaplanmaktadır. Bara sistemindeki günlük yük akış oranına göre daha dinamik bir yapı oluşturabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Calvillo, C. F., Sánchez-Miralles, A. ve Villar, J. (2016). Energy management and planning in smart cities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 273-287.
- [2] Akçin, M., Alagöz, B. B., Keleş, C., Karabiber, A. ve Kaygusuz, A. (2013). Dağıtık Kontrol ile Akıllı Şebekelerde Geniş-Alan Yönetimi ve Geleceğe Dönük Projeksiyonlar. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 17, 457-470.
- [3] Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı 2017-2018 Gelişimi Özet raporu, T.C Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı.
- [4] United States Department of Energy. (2013). Electricity Delivery and Energy Reliability, USA.
- [5] ERGEG. Position paper on smart grids.(2009). An ERGEG public consultation paper.
- [6] Misra, S., Krishna, P. V., Saritha, V., Agarwal, H. ve Ahuja, A. (2014). Learning automata-based multi-constrained fault-tolerance approach for effective energy management in smart grid communication network. *Journal of Network and Computer Applications*, 44, 212–219.
- [7] Gao, J., Xiao, Y., Liu, J., Liang, W. ve Philip Chen, C. L. (2012). A survey of communication/networking in Smart Grids. *Future Generation Computer Systems*, 28, 391-404.
- [8] Hashmi, M., Hanninen, S. ve Maki, K. (2011). Survey of smart grid concepts, architectures, and technological demonstrations worldwide, in: Innovative Smart Grid Technologies (ISGT Latin America), 2011 IEEE PES Conferenceon, Medellin, pp.1-7.
- [9] Grijalva, S. ve Tariq, M.U. (2011). Prosumer-based smart grid architecture enables a flat, sustainable electricity industry, in: IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies (ISGT) Conference, pp.1-6.
- [10] (EPA, 2018) <https://www.epa.gov/energy/electricity-customers>.
- [11] Jiang, Z., Li, F., Qiao, W., Sun, H., Wan, H., Wang, J., Xia, Y., Xu, Z. ve Zhang, P. (2009). A vision of smart transmission grids, in: Power & Energy Society General Meeting, PES '09 IEEE, 26-30 Julyi pp. 1-10.
- [12] BP Statistical Review of World Energy 201, 68th edition.
- [13] Ramchurn, S., Vytelingum, P., Rogers, A. ve Jennings, N. (2012). Putting the smarts into the smart grid: a grand challenge for artificial intelligence. *ACM*, 55:4, 86-97.
- [14] European Commission, European Smart Grids technology platform. (2006). European Commission Directorate-General for Research Information and Communication Unit, Brussels.
- [15] Electric Power Research Institue, American Electric Power Service Corporation (AEP) Smart Grid Demonstration, <http://smartgrid.epri.com>, 12 Aralık 2014.
- [16] Turkey Smart Grid 2023 Vision and Strategy Roadmap Summary Report.
- [17] NIST. (2014). NIST framework and roadmap for smart grid interoperability standards, Release 3.0.
- [18] GAZBİR (Türkiye Doğalgaz Dağıtıcıları Birliği). 2017. Akıllı Şebekeler.
- [19] TAŞ'2023, Türkiye Akıllı şebekeler 2023 Vizyon ve Strateji Belirleme Projesi, <http://www.akillisebekelerturkiye.org>.
- [20] B. D. Bunday, Basic Optimization Methods. (1984). Edward Arnold Ltd, London.
- [21] D. Kahaner, C. Moler, S. Nash, Numerical Methods and Software. (1989) Prentice Hall, Inc. Englewood Cliffs, NJ.

- [22] Lii, Y., Wang, Y. ve Li, B. (2013). A hybrid artificial bee colony assisted differential evolution algorithm for optimal reactive power flow. *Electrical Power and Energy Systems*, 52, 25–33.
- [23] Liang, R. H., Wang, J. C., Chen, Y. T. ve Tseng, W. T. (2015). An enhanced firefly algorithm to multi-objective optimal active/reactive power dispatch with uncertainties consideration. *Electrical Power and Energy Systems*, 64, 1088–1097.
- [24] Duman, S., Güvenç, Uğur., Sönmez, Y. ve Yörükeren, N. (2012). Optimal power flow using gravitational search algorithm. *Energy Conversion and Management*, 59, 86–95.
- [25] Abdia, H., Beigvand, S. D. ve Scala, M. L. (2017). A review of optimal power flow studies applied to smart grids and microgrids. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 71, 742–766.
- [26] Abacı, K. ve Yamaçlı, V. (2016). Differential search algorithm for solving multi-objective optimal power flow problem. *Electrical Power and Energy Systems*, 79, 1–10.
- [27] Biswas, P. P., Suganthan, P. N. ve Amaratunga, G. A. J. (2017). Optimal power flow solutions incorporating stochastic wind and solar power. *Energy Conversion and Management*, 148, 1194–1207.
- [28] Boucekara, H. R. E. H., Abido, M. A., Chaib, A. E. ve Mehasni, R. (2014). Optimal power flow using the league championship algorithm: A case study of the Algerian power system. *Energy Conversion and Management*, 87, 58–70.
- [29] Hoballah, A., Ahmed, Y. ve Shoush, K. A. (2019). Optimal utilization of automated distributed generation in smart grid using genetic algorithm. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 16(1), 82-91.
- [30] Mouassa, S., Bouktir, T. ve Salhi, A. (2017). Ant lion optimizer for solving optimal reactive power dispatch problem in power systems. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 20, 885–895.
- [31] Ghasemi, M., Ghavidel, S., Gitizadeh, M. ve Akbari, E. (2015). An improved teaching–learning-based optimization algorithm using Lévy mutation strategy for non-smooth optimal power flow. *Electrical Power and Energy Systems*, 65, 375–384.
- [32] Eminoğlu, U. ve Karahan, O. (2017). Metasezgisel metotlar kullanılarak ekonomik yük dağıtım problemi için çözüm: grafiksel kullanıcı arayüzü uygulaması. *Politeknik Dergisi*, 20(4), 827-835.
- [33] Nguyen, T. T. (2019). A high performance social spider optimization algorithm for optimal power flow solution with single objective optimization. *Energy*, 171, 218–240.
- [34] Mohamed A. A. A., Mohamed, Y. S., El-Gaafary, A. A. M. ve Hemeida, A. M. (2017). Optimal power flow using moth swarm algorithm. *Electric Power Systems Research*, 142, 190–206.
- [35] Fathy, A. ve Abdelaziz, A. (2018). Single-objective optimal power flow for electric power systems based on crow search algorithm. *Archives Of Electrical Engineering*, 67(1), 123–138.
- [36] Taher, S. A., & Afsari, S. A. (2014). Optimal location and sizing of DSTATCOM indistribution systems by immune algorithm. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 60, 34-44.
- [37] Panigrahi, B. K., Yadav, S. R., Agrawal, S., & Tiwari, M. K. (2007). A clonal algorithm to solve economic load dispatch. *Electric Power Systems Research*, 77(10), 1381-1389.

- [38] Hatata, A. Y., Osman, G., & Aladl, M. M. (2018). An optimization method for sizing a solar/wind/battery hybrid power system based on the artificial immune system. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 27, 83-93.
- [39] Azadeh, A., Taghipour, M., Asadzadeh, S. M., & Abdollahi, M. (2014). Artificial immune simulation for improved forecasting of electricity consumption with random variations. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 55, 205-224.
- [40] Carpentier, J. (1962). Contribution à l'étude du Dispatching Economique. *Bulletin de la Société Française des Electriciens*, 3 (8).
- [41] Malik, I. M. (2010). Optimum power flow using flexible genetic algorithm model in practical power system. thesis for MASTER of Engineering, National University Of Singapore.
- [42] Sun, A. X., Phan, D. T. ve Ghosh, S. (2013). Fully decentralized AC optimal power flow algorithms. *IEEE Power & Energy Society General Meeting*, Vancouver, BC, 1 5.
- [43] Nguyen, T. T. (2019). A high performance social spider optimization algorithm for optimal power flow solution with single objective optimization. *Energy*, 171, 218-240.
- [44] Adaryani, M. R. ve Karami, A. (2013). Artificial bee colony algorithm for solving multi-objective optimal power flow problem. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 53, 219-230,
- [45] Somasundaram, P. (2004). Evolutionary Programing Based Security Constrained Optimal Power Flow. *Electric Power System Research*, 72(1), 137–145.
- [46] Abido, M. A. (2010). Multi objective particle swarm optimization for optimal power flow problem. *Handbook of Swarm Intelligence*, 8, 241-268.
- [47] Liu, W. J., Chia, M., Liu, Z. W., Guan, Z. H., Chen, J. ve Xiao, J. W. (2019). Distributed optimal active power dispatch with energy storage units and power flow limits in smart grids. *Electrical Power and Energy Systems*, 105, 420-428.
- [48] Karaboğa, D. (2005). An Idea Based On Honey Bee Swarm For Numerical Optimization, TR-06, Erciyes University, Engineering Faculty, Computer Engineering Department.
- [49] Yang, X. S. (2009). Firefly Algorithms For Multimodal Optimization, *Stochastic Algorithms: Foundations And Applications*. SAGA, Lecture Notes in Computer Sciences 5792, Berlin, Heidelberg, Germany.
- [50] Yang, X. S. ve Deb, S.(2009). Cuckoo search via l'évy flights. in *Proc. World Congress on Nature and Biologically Inspired Computing*, Kitakyushu, Japan.
- [51] Payne, R. B. (1977). The Ecology of Brood Parasitism in Birds. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 8, 1–28.
- [52] Yang, X. S. (2014). *Nature-Inspired Metaheuristic Algorithms*. Second Edition, Luniver Press.
- [53] Yang, X. S. (2010). *Nature-Inspried Optimization Algorithms*. 1st Edition, Elsevier, 20 Feb.
- [54] De Castro, L. N. ve Timmis, J., 2002a, "Artificial Immune Systems: A New Computational Intelligence Approach", Springer-Verlag.
- [55] J. Yu, H. Zhou, "Fault Diagnosis Model of Transformer Based on Immune Algorithm," *IEEE PES Transmission and Distribution Conference*, 2005, pp.1-4
- [56] Parmaksızoğlu, S., 2005, "Yapay Bağışıklık Algoritması Kullanılarak Lineer Sistemlerin Kimliklendirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.

- [57] L.N. de Castro, F.J.V, Zuben. “aiNet: An Artificial Immune Network for Data Analysis”, in Data Mining: A Heuristic Approach Idea Group Publishing, USA, March, 2001, pp.231-259.
- [58] De Castro, L. N. ve Timmis, J. (2002). Artificial Immune Systems: A New Computational Intelligence Approach. Springer-Verlag.
- [59] Belkacemi, R. ve Feliachi, A. (2009). An immune system approach for power system automation and self healing. IEEE/PES Power Systems Conference and Exposition, Seattle, WA, 1-7.
- [60] D.Dasgupta, An Overwiev of Artificial Immune Systems: in: D.Dasgupta, Artificial Immune Systems and Their Applications, Springer-Verlag,1998,pp.3-19.
- [61] J.Timmis, Immune Systems: A novel data Analysis Technique Inspired by the Immune Network Theory, University of Wales, Abersystwyth, UK,2000.
- [62] L.N.D. Castro, J.Timmis, Artificial Immune Systems: A new computational Intelligence Approach, Springer-Verlag, London, 2002.
- [63] L.N. de Castro, F.J.V, Zuben. “aiNet: An Artificial Immune Network for Data Analysis”, in Data Mining: A Heuristic Approach Idea Group Publishing, USA, March, 2001, pp.231-259.
- [64] Shyh-Jier Huang, "Application of immune-based optimization method for fault section estimation in a distribution system," in IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 17, no. 3, pp. 779-784, July 2002, doi: 10.1109/TPWRD.2002.1022803.
- [65] J. Yu, H. Zhou, “Fault Diagnosis Model of Transformer Based on Immune Algorithm,”IEEE PES Transmission and Distribution Conference, 2005, pp.1-4
- [66] Kodaz, H., 2007, ”Bilgi Kazancı Tabanlı Yapay Bağışıklık Tanıma Sistemi”, DoktoraTezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [67] De Castro, L. N. ve Timmis, J., 2002a, "Artificial Immune Systems: A New Computational Intelligence Approach", Springer-Verlag.
- [68] Kaymaz, E. D., 2007, ”Yapay Bağışıklık Sistemi Tabanlı K-NN Sınıflandırma Algoritması İle Protein Örüntülerinin Hücredeki Yerleşim Yerlerinin Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [69] Parmaksızoğlu, S., 2005, ”Yapay Bağışıklık Algoritması Kullanılarak Lineer Sistemlerin Kimliklendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- [70] Souza, S. S. F., Romero, R, ve Franco, J. F. (21015). Artificial immune networks Copt-aiNet and Opt-aiNet applied to the reconfiguration problem of radial electrical distribution systems. *Electric Power Systems Research*, 119, 304-312.
- [71] Rezaei, A. M. ve Karami, A. (2013). Artificial bee colony algorithm for solving multiobjective optimal power flow problem. *Electr Power Energy Syst*, 53, 219–30.
- [72] Kim, J. Y., Mun, K. J., Kim, H. S. ve Park, J. H. (2011). Optimal power system operation using parallel processing system and PSO algorithm. *Int J Electr Power Energy Syst*, 33(8), 1457–61.
- [73] Ghasemi, M., Ghavidel, S., Ghanbarian, M. M., Gharibzadeh, M. ve Vahed, A. A. (2014). Multi-objective optimal power flow considering the cost, emission, voltage deviation and power losses using multi-objective modified imperialist competitive algorithm. *Energy*, 78, 276-289.
- [74] Mohamed, A. A. A., Mohamed, Y. S., El-Gaafary, A. A. M. ve Hemeida, A. M. (2017). Optimal power flow using moth swarm algorithm. *Electric Power Systems Research*, 142, 190–206.
- [75] Bouktir, T., Slimani, L., Belkacemi, M., (2004). A Genetic Algorithm for Solving the Optimal Power Flow Problem, *Leonardo Journal of Sciences*, 4. 44-58.

- [76] Shaw, B., Mukherjee, V. ve Ghoshal, S. P. (2015). Solution of reactive power dispatch of power systems by an opposition-based gravitational search algorithm. *Electrical Power and Energy Systems*, 55, 29–40.
- [77] El Ela, A. A., Abido, M. A. ve Spea, S. R. (2011). Differential evolution algorithm for optimal reactive power dispatch. *Electr Power Syst Res*, 81, 458–64.
- [78] Duman, S., Sonmez, Y., Guvenc, U. ve Yorukeren, N. (2012). Optimal reactive power dispatch using a gravitational search algorithm. *IET Gener Transm Distrib*, 6(6), 563–76.
- [79] Bhattacharya, A. ve Chattopadhyay, P. K. (2010). Solution of optimal reactive power flow using biogeography-based optimization. *Int J Electr Electron Eng*, 4(8), 568–76.
- [80] Mahadevan, K. ve Kannan, P. S. (2010). Comprehensive learning particle swarm optimization for reactive power dispatch. *Appl Soft Comput*, 10(2), 641–652.



EKLER

EK A-IEEE 30-baralı test sistemi

EK A1. IEEE 30-baralı test sistemi hat empedans değerleri.

Hat No	Baradan	Baraya	Hat Empedansı		Kademe Ayarı
			R(p.u)	X(p.u)	
1	1	2	0,0192	0,0575	.....
2	1	3	0,0452	0,1852	.....
3	2	4	0,0570	0,1737	.....
4	3	4	0,0132	0,0379	.....
5	2	5	0,0472	0,1983	.....
6	2	6	0,0581	0,1763	.....
7	4	7	0,0119	0,0414	.....
8	5	7	0,0460	0,1160	.....
9	6	7	0,0267	0,0820	.....
10	6	8	0,0120	0,0420	.....
11	6	9	0,0000	0,2080	1,05
12	6	10	0,0000	0,5560	1,05
13	9	11	0,0000	0,2080	.....
14	9	10	0,0000	0,1100	.....
15	4	12	0,0000	0,2560	1,05
16	12	13	0,0000	0,1400	.....
17	12	14	0,1231	0,2559	.....
18	12	15	0,0662	0,1304	.....
19	12	16	0,0945	0,1987	.....
20	14	15	0,2210	0,1997	.....
21	16	17	0,0824	0,1932	.....
22	15	18	0,1070	0,2185	.....
23	18	19	0,0639	0,1292	.....
24	19	20	0,0340	0,0680	.....
25	10	20	0,0936	0,2090	.....
26	10	17	0,0324	0,0845	.....
27	10	21	0,0348	0,0749	.....
28	10	22	0,0727	0,1499	.....
29	21	22	0,0116	0,0236	.....
30	15	23	0,1000	0,2020	.....
31	22	24	0,1150	0,1790	.....
32	23	24	0,1320	0,2700	.....
33	24	25	0,1885	0,3292	.....
34	25	26	0,2544	0,3800	.....
35	25	27	0,1093	0,2087	.....
36	28	27	0,0000	0,3960	1,05
37	27	29	0,2198	0,4153	.....
38	27	30	0,3202	0,6027	.....
39	29	30	0,2400	0,4533	.....
40	8	28	0,6360	0,2000	.....
41	6	28	0,0169	0,0599	.....

EK A2. IEEE 30-baralı test sistemi jeneratör bilgileri.

Bara No	P _{Gmin} (MW)	P _{Gmax} (MW)	Q _{Gmin} (MVar)	Q _{Gmax} (MVar)	Maliyet Katsayıları		
					a	b	c
1	50	200	-20	250	0	2	0,00375
2	20	80	-20	100	0	1,75	0,0175
5	15	50	-15	80	0	1	0,0625
8	10	35	-15	60	0	3,25	0,00834
11	10	30	-10	50	0	3	0,025
13	12	40	-15	60	0	3	0,025

EK A3. IEEE 30-baralı test sistemi yük bilgileri.

Bara No	Yükler		V _{min}	V _{max}
	P _L (MW)	Q _L (MVar)		
1	0	0	1,00	1,10
2	21,7	12,7	1,00	1,10
3	2,4	1,2	0,95	1,05
4	7,6	1,6	0,95	1,05
5	94,2	19	1,00	1,10
6	0	0	0,95	1,05
7	22,8	10,9	0,95	1,05
8	30	30	1,00	1,10
9	0	0	0,95	1,05
10	5,8	2	0,95	1,05
11	0	0	1,00	1,10
12	11,2	7,5	0,95	1,05
13	0	0	1,00	1,10
14	6,2	1,6	0,95	1,05
15	8,2	2,5	0,95	1,05
16	3,5	1,8	0,95	1,05
17	9	5,8	0,95	1,05
18	3,2	0,9	0,95	1,05
19	9,5	3,4	0,95	1,05
20	2,2	0,7	0,95	1,05
21	17,5	11,2	0,95	1,05
22	0	0	0,95	1,05
23	3,2	1,6	0,95	1,05
24	8,7	6,7	0,95	1,05
25	0	0	0,95	1,05
26	3,5	2,3	0,95	1,05
27	0	0	0,95	1,05
28	0	0	0,95	1,05
29	2,4	0,9	0,95	1,05
30	10,6	1,9	0,95	1,05

EK B-IEEE 118-baralı test sistemi

EK B1. IEEE 118-baralı test sistemi hat empedans değerleri.

Hat No	Baradan Baraya		Hat Empedansı		Hat No	Baradan Baraya		Hat Empedansı	
			R(p.u)	X(p.u)				R(p.u)	X(p.u)
1	1	2	0,0303	0,0999	94	63	64	0,00172	0,02
2	1	3	0,0129	0,0424	95	64	61	0	0,0268
3	4	5	0,00176	0,00798	96	38	65	0,00901	0,0986
4	3	5	0,0241	0,108	97	64	65	0,00269	0,0302
5	5	6	0,0119	0,054	98	49	66	0,018	0,0919
6	6	7	0,00459	0,0208	99	49	66	0,018	0,0919
7	8	9	0,00244	0,0305	100	62	66	0,0482	0,218
8	8	5	0	0,0267	101	62	67	0,0258	0,117
9	9	10	0,00258	0,0322	102	65	66	0	0,037
10	4	11	0,0209	0,0688	103	66	67	0,0224	0,1015
11	5	11	0,0203	0,0682	104	65	68	0,00138	0,016
12	11	2	0,00595	0,0196	105	47	69	0,0844	0,2778
13	2	12	0,0187	0,0616	106	49	69	0,0985	0,324
14	3	12	0,0484	0,16	107	68	69	0	0,037
15	7	12	0,00862	0,034	108	69	70	0,03	0,127
16	11	13	0,02225	0,0731	109	24	70	0,00221	0,4115
17	12	14	0,0215	0,0707	110	70	71	0,00882	0,0355
18	13	15	0,0744	0,2444	111	24	72	0,0488	0,196
19	14	15	0,0595	0,195	112	71	72	0,0446	0,18
20	12	16	0,0212	0,0834	113	71	73	0,00866	0,0454
21	15	17	0,0132	0,0437	114	70	74	0,0401	0,1323
22	16	17	0,0454	0,1801	115	70	75	0,0428	0,141
23	17	18	0,0123	0,0505	116	69	75	0,0405	0,122
24	18	19	0,01119	0,0493	117	74	75	0,0123	0,0406
25	19	29	0,0252	0,117	118	76	77	0,0444	0,148
26	15	19	0,012	0,0394	119	69	77	0,0309	0,101
27	20	21	0,0183	0,0849	120	75	77	0,0601	0,1999
28	21	22	0,0209	0,097	121	77	78	0,00376	0,0124
29	22	23	0,0342	0,159	122	78	79	0,00546	0,0244
30	23	24	0,0135	0,0492	123	77	80	0,017	0,0485
31	23	25	0,0156	0,08	124	77	80	0,0294	0,105
32	26	25	0	0,0382	125	79	80	0,0156	0,0704
33	25	27	0,0318	0,163	126	68	81	0,00175	0,0202
34	27	28	0,01913	0,0855	127	81	80	0	0,037
35	28	29	0,0237	0,0943	128	77	82	0,0298	0,0853
36	30	17	0	0,0388	129	82	83	0,0112	0,03665
37	8	30	0,00431	0,0504	130	83	84	0,0625	0,132
38	26	30	0,00799	0,086	131	83	85	0,043	0,148
39	17	31	0,0474	0,1563	132	84	85	0,0302	0,0641
40	29	31	0,0108	0,0331	133	85	86	0,035	0,123
41	23	32	0,0317	0,1153	134	86	87	0,0282	0,2074
42	31	32	0,0298	0,0985	135	85	88	0,02	0,102
43	27	32	0,0229	0,0755	136	85	89	0,0239	0,173
44	15	33	0,038	0,1244	137	88	89	0,0139	0,0712
45	19	34	0,0752	0,247	138	89	90	0,0518	0,188
46	35	36	0,00224	0,0102	139	89	90	0,0238	0,0997
47	35	37	0,011	0,0497	140	90	91	0,0254	0,0836
48	33	37	0,0415	0,142	141	89	92	0,0099	0,0505
49	34	36	0,00871	0,0268	142	89	92	0,0393	0,1581
50	34	37	0,00256	0,0094	143	91	92	0,0387	0,1272
51	38	37	0	0,0375	144	92	93	0,0258	0,0848
52	37	39	0,0321	0,106	145	92	94	0,0481	0,158
53	37	40	0,0593	0,168	146	93	94	0,0223	0,0732
54	30	38	0,00464	0,054	147	94	95	0,0132	0,0434
55	39	40	0,0184	0,0605	148	80	96	0,0356	0,182
56	40	41	0,0145	0,0487	149	82	96	0,0162	0,053
57	40	42	0,0555	0,183	150	94	96	0,0269	0,0869

58	41	42	0,041	0,135	151	80	97	0,0183	0,0934
59	43	44	0,0608	0,2454	152	80	98	0,0238	0,108
60	34	43	0,0413	0,1681	153	80	99	0,0454	0,206
61	44	45	0,0224	0,0901	154	92	100	0,0648	0,295
62	45	46	0,04	0,1356	155	94	100	0,0178	0,058
63	46	47	0,038	0,127	156	95	96	0,0171	0,0547
64	46	48	0,0601	0,189	157	96	97	0,0173	0,0885
65	47	49	0,0191	0,0625	158	98	100	0,0397	0,179
66	42	49	0,0715	0,323	159	99	100	0,018	0,0813
67	42	49	0,0715	0,323	160	100	101	0,0277	0,1262
68	45	49	0,0684	0,186	161	92	102	0,0123	0,0559
69	48	49	0,0179	0,0505	162	101	102	0,0246	0,122
70	49	50	0,0267	0,0752	163	100	103	0,016	0,0525
71	49	51	0,0486	0,137	164	100	104	0,0452	0,204
72	51	52	0,0203	0,0588	165	103	104	0,0466	0,1584
73	52	53	0,0405	0,1635	166	103	105	0,0535	0,1625
74	53	54	0,0263	0,122	167	100	106	0,0605	0,229
75	49	54	0,073	0,289	168	104	105	0,00994	0,0378
76	49	54	0,0869	0,291	169	105	106	0,014	0,0547
77	54	55	0,0169	0,0707	170	105	107	0,053	0,183
78	54	56	0,00275	0,00955	171	105	108	0,0261	0,0703
79	55	56	0,00488	0,0151	172	106	107	0,053	0,183
80	56	57	0,0343	0,0966	173	108	109	0,0105	0,0288
81	50	57	0,0474	0,134	174	103	110	0,03906	0,1813
82	56	58	0,0343	0,0966	175	109	110	0,0278	0,0762
83	51	58	0,0255	0,0719	176	110	111	0,022	0,0755
84	54	59	0,0503	0,2293	177	110	112	0,0247	0,064
85	56	59	0,0825	0,251	178	17	113	0,00913	0,0301
86	56	59	0,0825	0,251	179	32	113	0,0615	0,203
87	55	59	0,04739	0,2158	180	32	114	0,0135	0,0612
88	59	60	0,0317	0,145	181	27	115	0,0164	0,0741
89	59	61	0,0328	0,15	182	114	115	0,0023	0,0104
90	60	61	0,00264	0,0135	183	68	116	0,00034	0,00405
91	60	62	0,0123	0,0561	184	12	117	0,0329	0,14
92	61	62	0,00824	0,0376	185	75	118	0,0145	0,0481
93	63	59	0	0,0386	186	76	118	0,0164	0,0544

EK B2. IEEE 118-baralı test sistemi jeneratör bilgileri.

Bara No	P _{gmin} (MW)	P _{gmax} (MW)	Q _{gmin} (MVar)	Q _{Gmax} (MVar)	Maliyet Katsayıları		
					a	b	c
1	0	100	-5	15	0	40	0,01
4	0	100	-300	300	0	40	0,01
6	0	100	-13	50	0	40	0,01
8	0	100	-300	300	0	40	0,01
10	0	550	-147	200	0	20	0,0222
12	0	185	-35	120	0	20	0,11764
15	0	100	-10	30	0	40	0,01
18	0	100	-16	50	0	40	0,01
19	0	100	-8	24	0	40	0,01
24	0	100	-300	300	0	40	0,01
25	0	320	-47	140	0	20	0,04545
26	0	414	-1000	1000	0	20	0,03184
27	0	100	-300	300	0	40	0,01
31	0	107	-300	300	0	20	1,42857
32	0	100	-14	42	0	40	0,01
34	0	100	-8	24	0	40	0,01
36	0	100	-8	24	0	40	0,01
40	0	100	-300	300	0	40	0,01
42	0	100	-300	300	0	40	0,01
46	0	119	-100	100	0	20	0,52631
49	0	304	-85	210	0	20	0,04901
54	0	148	-300	300	0	20	0,20833

55	0	100	-8	23	0	40	0,01
56	0	100	-8	15	0	40	0,01
59	0	255	-60	180	0	20	0,06451
61	0	260	-100	300	0	20	0,0625
62	0	100	-20	20	0	40	0,01
65	0	491	-67	200	0	20	0,02557
66	0	492	-67	200	0	20	0,02551
69	0	805,2	-300	300	0	20	0,01936
70	0	100	-10	32	0	40	0,01
72	0	100	-100	100	0	40	0,01
73	0	100	-100	100	0	40	0,01
74	0	100	-6	9	0	40	0,01
76	0	100	-8	23	0	40	0,01
77	0	100	-20	70	0	40	0,01
80	0	577	-165	280	0	20	0,02096
85	0	100	-8	23	0	40	0,01
87	0	104	-100	1000	0	20	2,5
89	0	707	-210	300	0	20	0,01647
90	0	100	-300	300	0	40	0,01
91	0	100	-100	100	0	40	0,01
92	0	100	-3	9	0	40	0,01
99	0	100	-100	100	0	40	0,01
100	0	352	-50	155	0	20	0,03968
103	0	140	-15	40	0	20	0,25
104	0	100	-8	23	0	40	0,01
105	0	100	-8	23	0	40	0,01
107	0	100	-200	200	0	40	0,01
110	0	100	-8	23	0	40	0,01
111	0	136	-100	1000	0	20	0,27777
112	0	100	-100	1000	0	40	0,01
113	0	100	-100	200	0	40	0,01
116	0	100	-1000	1000	0	40	0,01

EK B3. IEEE 118-baralı test sistemi yükleri

Bara No	Yükler		Bara No	Yükler	
	P _L (MW)	Q _L (MVar)		P _L (MW)	Q _L (MVar)
1	51	27	60	78	3
2	20	9	61	0	0
3	39	10	62	77	14
4	39	12	63	0	0
5	0	0	64	0	0
6	52	22	65	0	0
7	19	2	66	39	18
8	28	0	67	28	7
9	0	0	68	0	0
10	0	0	69	0	0
11	70	23	70	66	20
12	47	10	71	0	0
13	34	16	72	12	0
14	14	1	73	6	0
15	90	30	74	68	27
16	25	10	75	47	11
17	11	3	76	68	36
18	60	34	77	61	28
19	45	25	78	71	26
20	18	3	79	39	32
21	14	8	80	130	26
22	10	5	81	0	0
23	7	3	82	54	27
24	13	0	83	20	10
25	0	0	84	11	7
26	0	0	85	24	15

27	71	13	86	21	10
28	17	7	87	0	0
29	24	4	88	48	10
30	0	0	89	0	0
31	43	27	90	163	42
32	59	23	91	10	0
33	23	9	92	65	10
34	59	26	93	12	7
35	33	9	94	30	16
36	31	17	95	42	31
37	0	0	96	38	15
38	0	0	97	15	9
39	27	11	98	34	8
40	66	23	99	42	0
41	37	10	100	37	18
42	96	23	101	22	15
43	18	7	102	5	3
44	16	8	103	23	16
45	53	22	104	38	25
46	28	10	105	31	26
47	34	0	106	43	16
48	20	11	107	50	12
49	87	30	108	2	1
50	17	4	109	8	3
51	17	8	110	39	30
52	18	5	111	0	0
53	23	11	112	68	13
54	113	32	113	6	0
55	63	22	114	8	3
56	84	18	115	22	7
57	12	3	116	184	0
58	12	3	117	20	8
59	277	113	118	33	15

ÖZGEÇMİŞ

Adı-Soyadı : Mehmet ÇINAR
Doğum Tarihi ve Yeri : 1978-Elazığ
E-posta : engmcinar@gmail.com



ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2000, İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği
- **Yüksek Lisans** : 2005, Fırat Üniversitesi, Elektrik–Elektronik Mühendisliği Ana bilim dalı
- **Doktora** : 2020, İnönü Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana bilim dalı

MESLEKİ DENEYİM:

- 2002-2006 Harran Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği araştırma görevlisi
- 2010- Bitlis Eren Üniversitesi Tatvan Meslek Yüksekokulu öğretim görevlisi

DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN ÇALIŞMALAR (Makaleler, Bildiriler, Patentler v.b.)

Projelerde yaptığı görevler

1.Proje Adı: Akıllı Şebekelerde Kullanılan Oto-Optimizasyon Algoritmaları ve Güncel Bir Sisteme Uygulanması

Proje Türü: Doktora tez projesi

Derstekleyen: İnönü Üniversitesi BAP birimi

Yürütücü: Asım KAYGUSUZ, **Araştırmacı** : Mehmet ÇINAR

Proje No: FDK-2020-1983

Uluslararası hakemli dergilerde (SCI-E’ de taranan) yayımlanan makale:

2. Cinar, M., Kaygusuz, A. Artificial Immunity Based Wound Healing Algorithm for Power Loss Optimization in Smart Grids, Advances in Electrical and Computer Engineering, vol.20, no.1, pp.11-18, 2020, doi:10.4316/AECE.2020.01002.

Ulusal hakemli dergilerde (TR-Dizin de taranan) yayımlanan makale:

3. Çınar, M., Kaygusuz, A. Self-Healing in Smart Grid: A Review, Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Cilt:7, Sayı:2, sayfa: 493-502, 2018.

Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında (proceedings) basılan bildiriler:

4. Çınar, M., Kaygusuz, A. Akıllı Şebekelerde Kendi Kendini İyileştirme (Self-Healing) Yöntemleri. 1ST International Engineering and Technology Symposium, 03–05 May, 2018, Batman. (Tam metin)

5. Çınar, M., Kaygusuz, A. Akıllı Şebekelerde Enerji Depolama Yöntemleri. 1ST International Engineering and Technology Symposium, 03–05 May, 2018, Batman. (Özet Metin)
6. Çınar, M., Kaygusuz, A. Akıllı Şebekelerin Kendi Kendini İyileştirmesi İçin Kullanılan Optimizasyon Algoritmaları. IDAP (International Conference on Artificial Intelligence and Data Processing, 28–30 September, 2018, Malatya. (Tam metin)
7. Çınar, M., Kaygusuz, A. Optimum Fuel Cost in Load Flow Analysis of Smart Grid by Using Artificial Bee Colony Algorithm, IDAP (International Conference on Artificial Intelligence and Data Processing, 21–22 September, 2019, Malatya. (Tam metin)
8. Çınar, M., Kaygusuz, A. Self-Healing By The Algorithm That Mimics The Human Immune System In Smart Grids, 5th IRDC International Regional Development Conference, 27-29 September, 2019, Malatya. (Tam metin)

