



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

**SİNÜS KAOTİK HARİTA VE KURTULMA HIZI TABANLI
YERÇEKİMİ ARAMA ALGORİTMASI İLE OPTİMAL GÜÇ AKIŞI**

EMRE CAN

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

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. UĞUR GÜVENÇ**

DÜZCE, 2019

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SİNÜS KAOTİK HARİTA VE KURTULMA HIZI TABANLI
YERÇEKİMİ ARAMA ALGORİTMASI İLE OPTİMAL GÜÇ AKIŞI

Emre CAN tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Uğur GÜVENÇ

Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Uğur GÜVENÇ

Düzce Üniversitesi

Prof. Dr. (jüri üyesinin ismi yazılmalıdır)

Düzce Üniversitesi

Prof. Dr. (jüri üyesinin ismi yazılmalıdır)

Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. (jüri üyesinin ismi yazılmalıdır)

Düzce Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi (jüri üyesinin ismi yazılmalıdır)

Düzce Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: .../.../2019

BEYAN

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

26 Temmuz 2019

Emre CAN

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam ve tez danışmanım Doç. Dr. Uğur GÜVENÇ'e en içten dileklerle teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca değerli katkılarını esirgemeyen çok değerli hocalarım Arş. Gör. Yunus HINISLIOĞLU, Dr. Öğr. Üyesi Ferzan KATIRCIOĞLU, Dr. Öğr. Üyesi Serdar BİROĞUL, Dr. Öğr. Üyesi Serhat DUMAN ve Doç. Dr. M. Kenan DÖŐOĞLU'na şükranlarımı sunarım.

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen sevgili aileme ve çalışma arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

26 Temmuz 2019

Emre CAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	vii
KISALTMALAR.....	viii
SİMGELER	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ	1
2. OPTİMAL GÜÇ AKIŞI.....	7
2.1. KISITLAMALAR.....	8
2.1.1. Eşitlik Kısıtlamaları	8
2.1.2. Eşitsizlik Kısıtlamaları.....	8
2.2. IEEE-30 BARA SİSTEMİ	10
2.2.1. Yakıt Maliyeti Minimizasyonu.....	11
2.2.2. Gerçek Güç Kaybı Minimizasyonu	11
2.2.3. Valf Noktası Etkisini Dikkate Alarak Yakıt Maliyeti Minimizasyonu ...	11
2.2.4. Genel Maliyet Hesabı ve Emisyon Maliyeti	12
3. GELİŞTİRİLMİŞ YERÇEKİMİ ARAMA ALGORİTMASI	13
3.1. YERÇEKİMİ ARAMA ALGORİTMASI	14
3.2. SİNÜS KAOTİK HARİTA OPERATORÜ	16
3.3. KURTULMA HIZI OPERATORÜ.....	21
3.4. SİNÜS KAOTİK HARİTA VE KURTULMA HIZI TABANLI YERÇEKİMİ ARAMA ALGORİTMASI.....	27
3.4.1. Geliştirilen Algoritmanın Uygulanması	29
4. SİMULASYON SONUÇLARI	33
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	39
6. KAYNAKLAR	40
7. EKLER	46
7.1. EK 1: TEST FONKSİYONLARI	46
7.2. EK 2: IEEE-30 BARALI SİSTEM VERİLERİ	50
ÖZGEÇMİŞ	54

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1. IEEE-30 baralı test sisteminin tek hat şeması	10
Şekil 3.1. Newton yerçekimi kanunu şekilsel gösterimi.....	13
Şekil 3.2. YAA'nın akış diyagramı	15
Şekil 3.3. Yerel minimuma yaklaşma ve takılma durumu [65].....	17
Şekil 3.4. Yerel minimuma takılma durumunun tespiti [65].....	19
Şekil 3.5. Kaotik sarsıntılı operatörün akış şeması [65]	19
Şekil 3.6. Kaotik sarsıntı oluşturma sözel kodu [65].....	20
Şekil 3.7. Kaotik sarsıntı sonucu yerel minimumdan kurtulma durumu [65].....	20
Şekil 3.8. Tek merkezli basit çekim alanındaki kurtulma hızı.....	22
Şekil 3.9. KHYAA sözel kodu [66].....	25
Şekil 3.100. KHYAA akış diyagramı	26
Şekil 3.111. KKHYYAA akış diyagramı	28

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 3.1. Literatürde kullanılan kaotik fonksiyonlar [65].....	21
Çizelge 4.1. Tek Modlu Test Fonksiyonları Sonuçları.....	33
Çizelge 4.2. Çok Modlu Test Fonksiyonları Sonuçları	34
Çizelge 4.3. Çok Modlu Ve Çok Düşük Boyutlu Test Fonksiyonları Sonuçları.....	34
Çizelge 4.4. Benchmark Test Fonksiyonları İçin Formula 1 Puanlama Sistemi	35
Çizelge 4.5. Benchmark Test Fonksiyonları İçin Önerilen Yöntemlerin Formula 1 Puanlamaları.....	35
Çizelge 4.6. Benchmark Test Fonksiyonları İçin Önerilen Yöntemlerin Toplam Puanına Göre Genel Sıralaması.....	36
Çizelge 4.7. KKHYAA Durum Değişkenleri Sonuçları.....	37
Çizelge 4.8. KKHYAA ve Diğer Algoritmaların Karşılaştırılması.....	38
Çizelge 7.1. Tek Modlu Test Fonksiyonları	46
Çizelge 7.2. Çok Modlu Test Fonksiyonları.....	47
Çizelge 7.3. Çok Modlu Ve Çok Düşük Boyutlu Test Fonksiyonları	48
Çizelge 7.4. IEEE-30 Baralı Generatör Sisteminin Ücret ve Emisyon Katsayıları [58], [59].....	50
Çizelge 7.5. IEEE-30 baralı test sistemi yük değerleri	50
Çizelge 7.6. IEEE-30 baralı test sistemi jeneratör değerleri.....	51
Çizelge 7.7. IEEE-30 baralı test sistemi hat değerleri	52

KISALTMALAR

DA	Doğru akım
FACTS	AC iletim sistemleri
GA	Genetik algoritma
GSA	Güve sürü algoritması
IEEE	The Institute of Electrical and Electronics Engineers
KHYAA	Kurtulma hızlı yerçekimi arama algoritması
KKHYAA	Kaos ve kurtulma hızlı yerçekimi arama algoritması
KKOA	Kır kurdu optimizasyon algoritması
KSYAA	Kaotik sarsıntılı yerçekimi arama algoritması
OGA	Optimal güç akışı
PID	Oransal integral türevsel denetleç
PSO	Parçacık sürü optimizasyonu arama algoritması
YAA	Yerçekimi arama algoritması
YAK	Yapay arı kolonisi

SİMGELER

$F(x)$	Amaç fonksiyonu
g	Eşitlik kısıt fonksiyonu
h	Eşitsizlik kısıt fonksiyonu
P	Aktif güç
S	İletim hat yükü
u	Bağımsız değişkenler vektörü
V	Gerilim
x	Bağımlı değişken vektörü
Q	Reaktif güç
G_k	k 'inci hat iletkenliği
B_k	k 'inci hat suseptansı

ÖZET

SİNÜS KAOTİK HARİTA VE KURTULMA HIZI TABANLI YERÇEKİMİ ARAMA ALGORİTMASI İLE OPTİMAL GÜÇ AKIŞI

Emre CAN

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Uğur GÜVENÇ

Haziran 2019, 53 sayfa

Bu çalışmada, sinüs kaotik haritalandırma ve kurtulma hızı tabanlı operatörler birleştirilerek yerçekimi arama algoritmasının performansının artırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla geliştirilmiş olan yeni algoritma tek modlu, çok modlu, çok modlu ve çok düşük boyutlu olan toplamda 23 adet karşılaştırma test fonksiyonlarında 30 defa test edilmiştir. Test çalışmasından elde edilen sonuçların minimum, ortanca ve ortalama değerleri alınmış, bu değerler parçacık sürü optimizasyonu, genetik algoritma, yerçekimi arama algoritması, kurtulma hızlı yerçekimi arama algoritması ve kaotik sarsıntılı yerçekimi arama algoritmaları ile karşılaştırılarak en iyi sonucun geliştirilmiş yerçekimi arama algoritması olduğu görülmüştür. Ayrıca, geliştirilen algoritma IEEE-30 baralı test sisteminde genel maliyet hesabı, güç kaybı hesabı, valf nokta etkili maliyet hesabı, birleşik genel maliyet ve emisyon maliyeti hesabı uygunluk değerleri için optimal güç akış probleminin çözümünde kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar güve sürü algoritması, kır kurdu optimizasyon algoritması ve yerçekimi arama algoritması ile karşılaştırılmıştır. Sonuçların analizleri yapıldığında geliştirilen algoritmanın etkili sonuçlar verdiği görülmektedir.

Anahtar sözcükler: Yerçekimi arama algoritması, Sinüs kaotik harita, Kurtulma hızı, Optimal güç akışı.

ABSTRACT

OPTIMAL POWER FLOW WITH SINUS CHAOTIC MAP AND ESCAPE VELOCITY BASED GRAVITATIONAL SEARCH ALGORITHM

Emre CAN

Düzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Electrical-Electronic
and Computer Engineer

Master's Thesis

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Uğur GÜVENÇ

June 2019, 53 pages

In this study, it is aimed to improve the performance of gravity search algorithm by combining sinus chaotic mapping and escape velocity based operators. The new algorithm developed for this purpose has been tested 30 times in a total of 23 comparison test functions which are single mode, multi mode, multi mode and very low size. Minimum, median and mean values of the results obtained from the test study were taken and these values were compared with particle herd optimization, genetic algorithm, gravity search algorithm, survival fast gravity search algorithm and chaotic jerky gravity search algorithms and the best result was improved gravity search algorithm. In addition, the developed algorithm has been used in the solution of the optimal power flow problem for the general cost calculation, power loss calculation, valve point effective cost calculation, combined general cost and emission cost calculation in the IEEE-30 bus test system. The results were compared with moth herd algorithm, prairie worm optimization algorithm and gravity search algorithm. When the results are analyzed, it is seen that the developed algorithm gives effective results.

Keywords: Gravitational search algorithm, Sinus chaotic map, Escape velocity, Optimal power flow.

1. GİRİŞ

Optimizasyon, eşitlik veya eşitsizlik kısıtlamaları içerisindeki en iyi değeri bulma işlemidir [1]. Verilen amaç veya amaçlar doğrultusunda belirli kısıtlamaların sağlanarak en uygun çözümün elde edilme sürecidir. Optimizasyon amaç olarak birçok konuda karşımıza çıkabilir. Örneğin üretim maliyetlerinin en aza indirilebilmesi, makine hızını arttırma, işgücü/adam bakımından en uygun işler seçebilme, üretim kapasitesi arttırma, kârlılık arttırma yani verimli çalışmak için amaç olarak kabul edilmektedir. Yapı-araç iskeleti dinamiğine ilişkin problemler, dizayn problemleri, ekonomi problemleri, zaman ve maliyet problemleri, operasyon araştırmaları, benzetim ile senaryo analizleri başlıca optimizasyon kullanım alanlarındandır [2].

Benzetim ile senaryo analizleri elektrik mühendisliğinde kullanılan yaygın optimizasyon yöntemlerinden birisidir. Bu çalışmada optimizasyon problemi çözümü için yerçekimi arama algoritması (YAA) geliştirilmesi yapılmıştır. YAA yayımlanmasından sonra basit ve kolay uygulanabilirliği açısından gerçek yaşam problemlerine çözüm aramak için tercih edilmeye başlanmıştır. YAA, 2009 yılında Rashedi ve arkadaşları tarafından sunulmuş, fizik tabanlı sezgisel bir algoritmadır [3]. Mühendislik uygulama alanlarında aşağıdaki literatür çalışmaları yapılmıştır.

Doğru Akım (DA) motor denetimi için oransal-integral-türevsel (PID) denetleç parametrelerinin tespitinde YAA kullanılmıştır [4]. Arttırma/Azaltma limitli ve yasak işletim bölgesi ekonomik güç dağıtım problemine YAA kullanılarak çözüm aranmıştır [5]. Çok amaçlı çevrimsel ekonomik dağıtım problemi ağırlıklı toplam metodu kullanılarak tek amaçlı optimizasyon problemine dönüştürülmüş, dönüştürülen problemin çözümünde ise YAA kullanılmıştır. Buna ek olarak YAA'nın performansını arttırmak için zıt konumluluk özelliği algoritma yapısına eklenmiştir [6]. Birleştirilmiş ekonomik ve emisyon dağıtım probleminde YAA ile uygun sonuç bulma işlemi Güvenç ve arkadaşları tarafından önerilmiştir [7]. Yaa'NIN valf nokta etkili ekonomik yük dağıtımına problemine çözüm aranmış, kısa çalışma zamanı ile yüksek oranda uygun sonuçlar elde edilmiştir [8]. Shaw ve arkadaşları başka bir çalışmada ise YAA yakınsama hızını geliştirmek için zıt sayılar kullanılan yeni bir muhalif tabanlı

algoritma elde etmişler bu algoritmayı YAA ile birleştirerek ekonomik ve emisyon yük dağıtım problemine çözüm önermişlerdir [9].

YAA'nın zayıf noktalarından birisi olan çeşitliliğinin hızlı bozulması erken yakınsama problemi oluşturmaktadır. Bu problemin çözümü ve YAA'nın performansının artırılması için Parçalı Doğrusal ve Sıralı Kuadratik Programlama YAA önerilmiştir. Bu operatör ile çeşitlilik düzenleme mekanizması kullanılarak yerel arama stratejisi geliştirilmiş, standart uygulamaya göre hızlandırılmıştır [10]. Başka bir çalışmada erken yansımadan kaçınmak ve YAA'nın arama yeteneğini arttırmak için GA ile YAA birleştirilmiştir [11]. Çeşitli kısıtlamalarla ekonomik emisyon yükü dağıtım problemlerini çözmek için parçacık sürüsü optimizasyonu ve yerçekimi arama algoritması hibritlenmiştir. Bu öneride PSO'nun hızı GSA'yı hızlandırmıştır. Pratik kısıtlamalar altında çözümü diğer algoritmalarla kıyaslanmıştır [12]. Eğitim stabilite analizi için modifiye YAA kullanılmıştır. Yaptıkları çalışmada yeni strateji olarak, orijinal algoritmanın küresel arama yeteneği kontrol edilerek, yakınsama oranını arttırmayı ve böylece daha az sayıda yenileme ile kabul edilebilir bir çözüm elde etmeyi amaçlayan adaptif bir maksimum hız kısıtlaması kullanılmıştır [13]. YAA, hafıza yeteneğinden yoksun olan yerçekimi ve kütle etkileşimleri yasasına dayalı bir optimizasyon algoritmasıdır. YAA'nın arama doğruluğunu arttırmak için parçacık belek yeteneği ile modifiye edilmiş, YAA'dan daha iyi yerel ve küresel optimum çözümler elde edilmiştir [14]. YAA'nın keşif ve sömürü yeteneklerini arttırmak için doğadan ilham alınarak astrofizik kaynaklı bozukluk adlı yeni bir operatör geliştirilmiştir. Bozukluk operatörü en az hesaplama ile YAA'nın arama alanını daha fazla araştırmasını ve istismar etmesini sağlamıştır [15].

Otomatik voltaj regülatörü sisteminin parametre tanımlamasında parçalı fonksiyon esaslı YAA önerilmiş ve uygulanmıştır. Bu algortmada geleneksel üstel fonksiyonun yerini alacak yerçekimi sabit fonksiyonu olarak parçalı bir işlev tasarlanmıştır. YAA'nın mükemmel bir arama yeteneğine sahip olabilmesi için parça parça fonksiyonu ile yakınsaması daha rasyonel çekim sabiti kullanılarak bulunmuştur [16]. Elektrik üreticileri ürettikleri enerjiyi daha kârlı satabilmek için piyasaya teklif sunmaktadırlar. Her bir üretici rekabeti yenmek için akıllıca bir teklif katsayısı oluşturmak zorundadır. Elektrik piyasasında optimal teklif vermek için bulanık uyarlamalı YAA kullanılarak yeni bir stokastik optimizasyon yaklaşımı sunulmuştur [17]. YAA'nın parametrelerinin akıllıca güncellenebilmesi için geliştirilmiş bir yöntem önerilmiştir. Yerçekimi katsayısı

ve etkili nesnelere sayısı YAA'nın arama sürecinde önemli rol alan parametrelerdir. Geliştirilmiş metotta yeni bir karar fonksiyonu tahmin algoritması oluşturmak için kullanılır. Karşılaştırmalı sonuçlar elde edilmiş ve önerilen metotun daha iyi olduğu gösterilmiştir [18]. Çok telsizli ağlarda iyi bir kanal ataması yapabilmek için geliştirilmiş YAA kullanılmıştır. Çalışmanın temel amacı, genel müdahaleyi en aza indirgeyerek ağ bağlantısının sağlanmasıyla ağ verimliliğini arttırmaktır. Bu sayede parazitli kanal sayısı azaltılabilir [19]. Kümeleme algoritmalarında çokça kullanılan K-ortalama; YAA'nın yerel optimumdan kaçınmayı ve yakınsama hızını arttırmayı amaçlamıştır. YAA için ilk popülasyonun üretilmesinde K-ortalama algoritması kullanılmıştır [20]. Standart YAA algoritmasına farklı bir yaklaşım ile yaklaşan Ferzan [21], standart yerçekimi arama algoritmasındaki büyük kütleli hedeften çıkartıp yeni bir ajan geliştirmiş, bu ajan ile normalde büyük kütle takibi yapılırken küçük kütle takibi yapılmış, bu sayede toplam kuvveti yani hızının düşük olmasını amaçlamıştır. Çok küçük oranda konum değiştirerek en iyi yakınsama özelliği artırılması amaçlanmıştır [21], [22]. Bir diğer çalışmada YAA'nın davranışı ve parametreleri arasındaki nitel ve nicel ilişkileri analiz edilmiş, bu sayede YAA modifikasyonu yapılabilmesi için değişkenlerden hangisinin en uygun olabileceğini tespit edilmiştir [23]. U. Güvenç ve F. Katırcıoğlu yaptıkları çalışmada yerçekimi arama algoritmasındaki değişkenlerin algoritmaya etkilerini inceleyerek en iyi aralıkları tespit etmişler ve deneylere yer vermişlerdir [24].

Bu tez çalışmasında YAA geliştirilmesi için sinüs kaotik harita ve kurtulma hızı operatörlerinin birlikte kullanılması önerilmiştir. Bu operatörler ile geliştirilen YAA Ek 1 de verilen 23 adet tek modlu, çok modlu, çok modlu ve çok düşük boyutlu test fonksiyonlarında test edilmiştir. Bu tez çalışmasının konusu olan optimal güç akış (OGA) probleminde geliştirilen YAA kullanılarak çözüm aranmıştır.

Yükselen enerji fiyatları sonrası elektrik üretiminin pahalılaşığı günümüzde sadece enerji santrallerindeki optimizasyonla kalmayıp ayrıca piyasada rekabet edilebilir fiyatlarla dağıtmakta önemlidir. Bu kapsamda 1962 yılında Carpentier tarafından optimal güç akış problemi geliştirilmiştir. Geliştirilen problemde birçok amaç ve hedef vardır. En önemli konu ise; sistemlerin belirlenen koşulları zorlanmadan sağlanmasının yanında, belirlenen amaç fonksiyonunu minimize etmektir [25], [26]. OGA probleminin temel amacı, yakıt maliyeti, parçalı kuadratik maliyet fonksiyonu, valf etkisi, voltaj profili iyileştirme, voltaj kararlılığı iyileştirme gibi sorunların optimum ayarlanmasıyla

seçilen bir hedef fonksiyonunu optimize etmektir [1].

Optimizasyon işlemi yapılırken karşımıza bazı engeller çıkmaktadır. Problemin içerisinde güç akışı eşitlikleri ile enerji sistemlerindeki fiziksel kısıtlamalar dikkate alınmalıdır [27].

Güç akışı çökmesini önlemek için sürekli uyulması gereken fiziksel ve güvenlik kısıtlamaları vardır. Bunlar üretim ve tüketim dengesi, generatör üzerindeki aktif ve reaktif güç üretim kısıtlamaları, generatör ve yük baralarının gerilimleri üzerindeki kısıtlamalar, iletim hatları ve transformatörlerin üzerindeki güç akışı sınırlamaları vb. diğer kontrol değişkenleri üzerindeki sınırlardır [1]. Sistemdeki generatörlerin, transformatörlerin veya hattın arıza durumu gibi nedenlerle kopmasında kısıtlamalara eklenebilir. İhtiyaç olan güce karşılık üretim kapasitesine bağlı şebeke yöneticisi güç taleplerini en uygun fiyata stabil bir şekilde karşılamaya çalışmaktadır. Bu bağlamda optimal güç akışı problemi, geniş ve zor bir matematiksel programlama tekniğidir [28].

OGA problemini çözmek için başlangıçta sayısal metotlar kullanılmaktayken günümüzde sezgisel metotlar daha fazla kullanılmaktadırlar. Sayısal metotlara örnek olarak doğrusal olmayan programlama, quadratik programlama, Newton tabanlı teknikler, lineer programlama gibi teknikler gösterilebilir. Sayısal metotlar kolaylıkla yerel minimuma takılma ve başlangıç noktası problemi nedeniyle dezavantajları çoktur. Bu dezavantajlar günümüzde sezgisel metotlar kullanarak kaldırılmışlardır. Sezgisel metotlar büyük bir avantaj olarak global minimumu veya global minimuma yakın optimum çözümler elde etmektedirler [29], [30], [31].

Ekonomik dağıtım ve optimal güç akışı analiziyle ilgili olarak yapılan başlıca çalışmalar şunlardır; Harmann ve ark. tarafından yapılan çalışmada, optimal güç akışı çözüm yöntemlerine değinilmiş gradient yöntemiyle problemin çözümüne yer verilmiştir [32]. Rashed ve ark. tarafından yapılan çalışmada lagrange çarpanları, hessian ve jakobian matrisleri ile geliştirilmiş algoritmaya yer verilmiştir [33]. Happ tarafından yapılan çalışmada, klasik ekonomik dağıtım yöntemi ve optimal ekonomik dağıtım yöntemleri karşılaştırılmıştır [34]. Mehmet ve ark. tarafından yapılan çalışmada Türkiye'deki 22 baralı 380 kV'luk güç sistemi için ekonomik dağıtım ve optimal güç akışı yöntemlerinin karşılaştırmalı analizi yapılmıştır [35]. Lukman ve ark. tarafından yapılan çalışmada, güç sistemlerinde kayıpların minimuma indirilmesiyle ilgili çalışmalara yer verilmiştir [36]. Zhiqiang ve ark. tarafından yapılan çalışmada, istatistiksel çözümler kullanarak

ekonomik dağıtım ve optimal güç akışı problemlerinin çözümüne yer verilmiştir [37]. B. E. Altun benzerlik tabanlı genetik algoritma (GA) kullanarak optimal güç akışı problemine çözüm önermiştir [38]. U. Güvenç ve ark. yerçekimi arama algoritması (YAA) kullanarak optimal güç akışı problemini ele almış [1]. A. Doğan ve ark. yaptığı çalışmada, yerçekimi arama algoritması cisimler arasındaki çekme kuvvetini esas alır, çekme kuvveti cisimlerin ağırlıklarıyla doğru aralarındaki mesafenin karesi ile ters orantılıdır diyerek optimal güç akışının yapay arı kolonisi (YAK) ile sağlanmasını araştırmıştır [39]. Çeşitli araştırmacılar güç sistemlerinde genetik algoritma uygulamaları ve ekonomik yük dağıtımını araştırmıştır [38], [40]–[42]. S. Özyön ve ark. yaptığı araştırmada arttırma/azaltma limitli ve yasak işletim bölgesi ekonomik güç dağıtımını problemlerinin yerçekimi arama algoritması ile çözümü önerilmiştir [43]. U. Güvenç ve ark. 2012 de yakıt maliyetini en aza indirmek için YAA kullanan esnek AC iletim sistemleri (FACTS) cihazlarını içeren optimal güç akışı problemi incelemiştir [29]. Başka bir çalışmada, üç temel nokta tabanlı algoritmanın (primal-dual, predictor-corrector, MCC çok sayıda merkezi düzeltme) optimal güç akış problemini çözme yeteneğini analiz etmektedir [44].

Capitanescu'nun 2016 yılında yaptığı çalışmada OGA'nın 2010-2016 yılları arasında gelişen teknolojiyle güncel bir eleştirel bakış açısı ele alarak üç ana konuyu incelemiştir. Bunlar belirsizlik altında deterministik OGA, riske dayalı OGA ve OGA'dır [45]. A. Bhattacharya 2011 de yaptığı çalışmada, jeneratör kapasite limitleri, güç dengesi kısıtlamaları, hat akışı ve bara gerilimi limitleri gibi kısıtlamalar altında konveks veya konveks olmayan yakıt maliyeti özelliklerine sahip jeneratörler ile bir güç sisteminin optimal güç akışı problemlerini çözmek için biyocoğrafya tabanlı optimizasyon algoritması sunmaktadır [46]. A. Bhattacharya 2012 de yaptığı çalışmada optimal güç akışı problemi çözümü için yerçekimi arama algoritmasını kullanmıştır [47]. Krill Herd algoritması kullanılarak valf nokta etkili kombine ısı ve güç sistemli optimal güç akışı incelenmiştir [48]. Su buharlaşma algoritması kullanarak optimal güç akış problemine çözüm aranmıştır [49]. T. Bouktir, diferansiyel evrim algoritması kullanarak Cezayir elektrik şebekesinin optimum güç akışı çözümünü incelemiştir [50]. Ateşböceği algoritması kullanarak emisyon kontrollü optimal güç akışı problemine çözüm önerilmiştir [51]. FACTS cihazlarını da hesaba katarak ateşböceği algoritması ile optimal güç akışı problemi çözümü incelenmiştir [52]. Yapay arı kolonisi algoritması tabanlı elbombası patlatma (grenade explosion) yönetimi olarak adlandırılan yeni

gelişmiş meta-sezgisel algoritma kullanarak optimal güç akışı probleminin çözümü irdelenmiştir [53]. Konveks olmayan optimal güç akışı problemini çözmek için etkin kaotik guguk kuşu (cuckuoo) arama algoritması kullanılmıştır [54]. N. Pamuk doğada yiyecek arayan canlılardan esinlenerek oluşturulmuş yapay arı kolonisi algoritmasını optimal yük akışı problemine uygulamış ve PowerWorld benzetim programı kullanarak hesaplamıştır [55]. A. Öztürk ve S. Duman aktif güç kayıplarını minimize ederek yüksek oranda ekonomik kazanç ve enerji tasarrufu yapılması için genetik algoritma ile optimum çalışma koşullarını belirlemişler [56].

Bu tez çalışmasında, optimal güç akışı probleminin çözümünde geliştirilmiş YAA kullanılmıştır. Geliştirilen algoritma IEEE-30 bara sisteminde test edilmiştir. Önerilen algorithmadan elde edilen sonuçlar daha önceki çalışmalarda yer almış olanlarla karşılaştırılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde tasarlanan yöntemin optimal güç akışı problemi çözümünde etkinliğini göstermektedir.



2. OPTİMAL GÜÇ AKIŞI

İnsanlık tarihinde son yüzyılda özellikle sanayi devriminden sonra ciddi bir enerji ihtiyacı oluşmuştur. Bu enerji kaynaklarından en yaygın elektrik enerjisidir. Elektrik enerjisinin ihtiyaç haline gelmesi ile üretim ve dağıtım giderlerinde ciddi bir maliyet artışı getirmektedir. Bu maliyetler karşısında tasarruf sağlatılabilmesi için literatürde optimal güç akışı, ekonomik yük dağıtımı vb. problemler karşımıza çıkmaktadır. Bu bölümde araştırmacıların üzerinde çok durduğu optimal güç akış problemi tanıtımı yapılmıştır.

Optimal güç akışı problemi aşağıdaki denklemler ile formüle edilmiştir.

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

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

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

Denklem (2.1) burada minimum değeri bulmak istenen amaç fonksiyonudur. Bu çalışmada amaç fonksiyonu sistem içerisindeki toplam enerji üretim maliyeti seçilmiştir. Denklem (2.2) güç akışı eşitliklerini göstermektedir. Denklem (2.3) güvenlik limit değerlerini göstermektedir. x , durum değişkenini, u ise kontrol değişkenini göstermektedir.

Enerji sistemlerindeki kontrol değişkenleri salınım barası hariç diğer generatör baralarının aktif çıkış güçleri, transformatör kadame değerleri, şönt kapasite değerleri ve generatör baralarının gerilim genlik değerleridir [57].

Denklem (2.4)' de bağımlı durum değişkenleri salınım barasının aktif çıkış gücü P_{G1} , yük baralarının gerilim genlik değerleri V_L , jeneratör baralarının reaktif çıkış güçleri Q_g ve S_1 , iletim hattı yükünü ifade etmektedir.

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

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

Denklem (2.5)'de kontrol değişkenleri olarak salınım bara haricindeki jeneratör baralarının aktif çıkış gücü P_g , jeneratör baralarının gerilim genlik değerleri V_g , transformatörlerin kademe ayar değerleri T ve şönt kapasitelerinin değerleri Q_c 'dir.

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

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

2.1. KISITLAMALAR

Sistemin gerçeğe yakın anlamda verimli çalışması için ekipmanların belirli bir sınırlar içerisinde çalışması gerekmektedir. Bu sınırlar, eşitlik ve eşitsizlik kısıtlamalarıdır.

2.1.1. Eşitlik Kısıtlamaları

OGA'de güç dengesi denklemleri eşitlik kısıtlamalarına tabidir ve kısıtlamalar Denklem (2.6) ve Denklem (2.7)'da gösterilmiştir.

$$P_{G_i} - P_{D_i} - V_i \sum_{j=1}^{NB} V_j [V_{ij} \cos(\delta_{ij}) + B_{ij} \sin(\delta_{ij})] = 0 \quad \forall i \in NB \quad (2.6)$$

$$Q_{G_i} - Q_{D_i} - V_i \sum_{j=1}^{NB} V_j [G_{ij} \sin(\delta_{ij}) - B_{ij} \cos(\delta_{ij})] = 0 \quad \forall i \in NB \quad (2.7)$$

Burada i ve j arasındaki voltaj açılarındaki fark $\delta_{ij} = \delta_i - \delta_j$ ile gösterilmiştir. NB ise bara sayısıdır. Sırasıyla aktif ve reaktif güç talepleri P_D ve Q_D 'dir. Sırasıyla i ve j arasındaki transfer iletkeni G_{ij} ve susceptansı B_{ij} 'dir.

2.1.2. Eşitsizlik Kısıtlamaları

OGA'deki eşitsizlik kısıtlamaları, güç sisteminde bulunan ekipmanların çalışma sınırlarını ve sistem güvenliğini garanti altına almak için hat ve yük barasına getirilen sınırları yansıtmaktadır. Denklem (2.3)'te h diye verilmiş olan eşitsizlik kısıtlamaları, generatör, transformatör, şönt kapasite ve iletim hattına bağlı gerilim/yük değerlerini

sınırlar içerisinde koruyarak sistemin verimli çalışmasını sağlamaya yaramaktadır.

a. Generatör Kısıtları

i barasındaki gerilim değeri o bara için belirtilen minimum ve maksimum gerilim değerleri arasında olmalıdır.

$$V_{G_i}^{min} \leq V_{G_i} \leq V_{G_i}^{max} \quad \forall i \in NG \quad (2.8)$$

Jeneratör tarafından üretilen aktif güç jeneratörün belirtilen minimum ve maksimum üretim kapasite değerleri arasında olmalıdır.

$$P_{G_i}^{min} \leq P_{G_i} \leq P_{G_i}^{max} \quad \forall i \in NG \quad (2.9)$$

Jeneratörler tarafından sisteme aktarılan reaktif güç jeneratörünün belirtilen minimum ve maksimum üretim kapasite değerleri arasında olmalıdır.

$$Q_{G_i}^{min} \leq Q_{G_i} \leq Q_{G_i}^{max} \quad \forall i \in NG. \quad (2.10)$$

b. Transformator Kısıtları

Transformatör kademe oranları her transformatör için belirtilen minimum ve maksimum değerleri arasında olmalıdır.

$$T_j^{min} \leq T_j \leq T_j^{max} \quad \forall j \in NT. \quad (2.11)$$

c. Şönt Kapasite Kısıtları

Devreye alınan şönt kapasitörler belirtilen sınır değerler arasında olmalıdır.

$$Q_{c_k}^{min} \leq Q_{c_k} \leq Q_{c_k}^{max} \quad \forall k \in NC. \quad (2.12)$$

d. Güvenlik Kısıtları

İletim hattında taşınan güç, iletim hattının maksimum güç taşıma kapasitesini geçmemelidir ve gerilim belirlenen sınır değerler arasında olmalıdır.

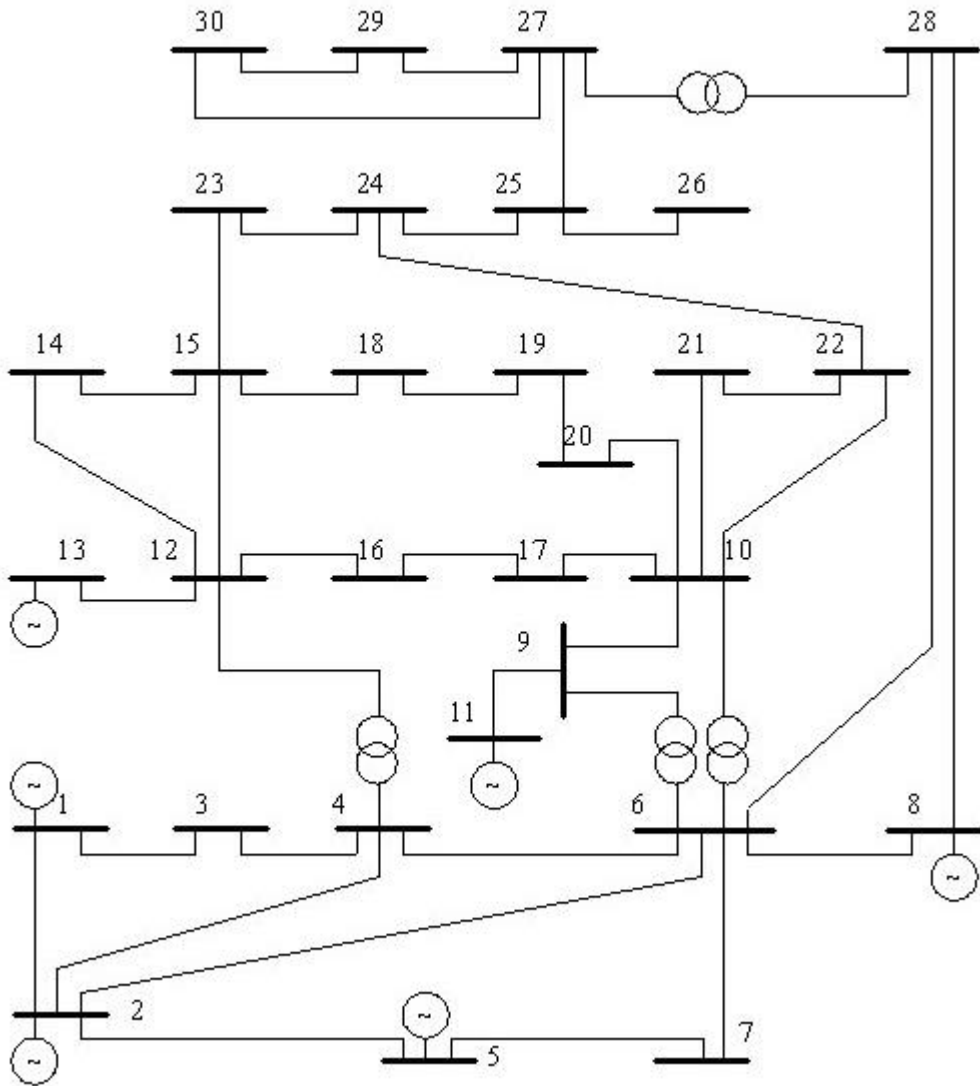
$$V_{L_p}^{min} \leq V_{L_p} \leq V_{L_p}^{max} \quad \forall p \in NL \quad (2.13)$$

$$S_{l_q} \leq S_{l_q}^{max} \quad \forall q \in nl. \quad (2.14)$$

Eşitsizlik kısıtlamaları arasındaki kontrol değişkenleri kendi kendini sınırlamaktadır.

2.2. IEEE-30 BARA SİSTEMİ

Çeşitli kısıtlama işleme tekniklerinin performansını değerlendirmek için, standart IEEE-30 bara test sistemleri kullanılarak çok amaçlı vaka çalışması bu tez çalışmasında yapılmıştır. Sistem için toplamda 4 adet çalışma durumu denenmiştir. Şekil 2.1’de IEEE-30 bara sisteminin tek hat şeması verilmiştir. Eklerde Çizelge 7.4. IEEE-30 Baralı Generatör Sisteminin Ücret ve Emisyon Katsayıları, Çizelge 7.5. IEEE-30 baralı test sistemi yük değerleri, Çizelge 7.6. IEEE-30 baralı test sistemi jeneratör değerleri ve Çizelge 7.7. IEEE-30 baralı test sistemi hat değerleri verilmiştir. Sonuçlar bölümünde optimizasyondan alınan en iyi değerler paylaşılmıştır.



Şekil 2.1. IEEE-30 baralı test sisteminin tek hat şeması

2.2.1. Yakıt Maliyeti Minimizasyonu

Yapılan literatür çalışmalarının neredeyse tümünde bu OGA'nin en temel amaçlanmış durumudur. Yakıt maliyeti (\$/saat) ile üretilen güç (MW) arasındaki ilişki, yaklaşık olarak ikinci dereceden ilişki olarak tanımlanmaktadır. Bu nedenle en aza indirilecek olan amaç fonksiyonu şu şekildedir;

$$F = \left(\sum_{i=1}^{NG} a_i + b_i P_{G_i} + c_i P_{G_i}^2 \right) \quad (2.15)$$

Burada i . Generatörün çıkış gücü P_{G_i} , a_i, b_i, c_i ise ücret katsayılarıdır. IEEE 30 baralı sistemin ücret ve emisyon katsayıları eklerde 7.1'de verilmiştir [58], [59].

2.2.2. Gerçek Güç Kaybı Minimizasyonu

Hatlardaki iç dirençten dolayı güç kaybı yaşanması kaçınılmazdır. Gerçek güç kaybı hesaplamak için şu formül kullanılır;

$$F = P_{kayıp} = \sum_{q=1}^{nl} G_{q(ij)} [V_i^2 + V_j^2 - 2V_i V_j \cos(\delta_{ij})] \quad (2.16)$$

Burada $\delta_{ij} = \delta_i - \delta_j$, i, j ve $G_{q(ij)}$ arasında farklı gerilim açıları arasındaki fark, transfer iletkenlik kolu q ve bağlantı busları i ve j 'dir.

2.2.3. Valf Noktası Etkisini Dikkate Alarak Yakıt Maliyeti Minimizasyonu

Yakıt maliyetlerini daha hassas ve gerçekçi bir eldenim kazanmak için valf noktası etkisini dikkate alarak modelleme yapmak gerekir. Çoklu valfli buhar türbünlerine sahip olan enerji üretim santralleri, daha çok valf noktasına maruz kalır [60]. Valf noktası dikkate alınarak maliyet hesabı şu formülle yapılır;

$$F = \sum_{i=1}^{NG} a_i + b_i P_{G_i} + c_i P_{G_i}^2 + \left| d_i \times \sin \left(e_i \times (P_{G_i}^{min} - P_{G_i}) \right) \right| \quad (2.17)$$

Burada d_i ve e_i Valf noktası yükünü temsil eden katsayılarıdır.

2.2.4. Genel Maliyet Hesabı ve Emisyon Maliyeti

Yapılan hesaplamalar güç sistemlerinde daha iyi sonuçlar alınabilmesi için birleştirilmesi normaldir. Bu kapsamda emisyon değerleride dikkate alınarak genel maliyet hesabı aşağıdaki denklem ile yapılır.

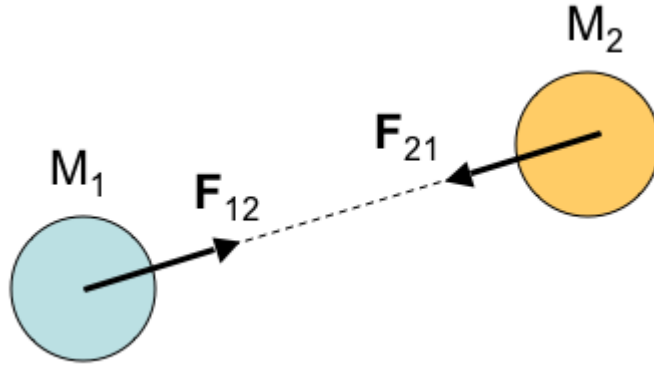
$$F = \sum_{i=1}^{NG} (a_i P_{Gi}^2 + b_i P_{Gi} + c_i) + C_{tax} \sum_{i=1}^{NG} (\gamma_i P_{Gi}^2 + \beta_i P_{Gi} + \alpha_i + \zeta_i e^{\lambda_i P_{Gi}}) \quad (2.18)$$

Denklemden F amaç fonksiyonu termal generatör maliyetini, C_{tax} ise amaç fonksiyonları arasındaki tutarsızlığı gidermek için belirlenen denge katsayısıdır. $\gamma_i, \beta_i, \alpha_i, \zeta_i$ ve λ_i sabitleri i . Birimin emisyon katsayılarını ifade etmektedir. Bu hesap için katsayılar eklerde 7.1'de verilmiştir.

3. GELİŞTİRİLMİŞ YERÇEKİMİ ARAMA ALGORİTMASI

Doğada 4 temel kuvvet bulunur. Bunlar kütle çekim kuvveti, elektromanyetik kuvvet, güçlü nükleer kuvvet ve zayıf nükleer kuvvet olarak gruplandırılmıştır. Bu kuvvetler evrendeki bütün yapının düzenli ve dengeli bir biçimde yerli yerinde olmasını sağlayacak şekildedirler. Bunlardan güçlü ve zayıf nükleer kuvvetler atomun yapısında rol alırken kütle çekim ve elektromanyetik kuvvetler ise atomlar ve dolayısıyla atomun oluşturdukları tüm maddeler arasındaki etkileşimde rol alırlar [61].

İki kütle arasında oluşan kuvvete kütle çekim kuvveti denmektedir. Bu kuvvet etki alan çok geniş olup temas gerektirmemektedir. Gücü diğer temel kuvvetlere göre daha az olan kütle çekim kuvvetine; yer çekimi kuvveti, gezegenler ve uyduları bir arada tutan kuvvet, gelgit olayları gibi örnekler verilebilir [62].



Şekil 3.1. Newton yerçekimi kanunu şekilsel gösterimi

Newton'un yerçekimi kanunu Şekil 3.1'de şematik olarak gösterilmiştir. Bu kanuna göre çekim kuvveti, kütlelerin çarpımı ile doğru, aralarındaki uzaklığın karesi ile ters orantılıdır.

$$F = G \frac{M_1 M_2}{R^2} \quad (3.1)$$

Burada;

F : İki kütle arasındaki çekim kuvvetinin büyüklüğü,

G : Yer çekimi ivmesi,

M_1 : Birinci kütlein büyüklüğü,

M_2 : İkinci kütlenin büyüklüğü,

R : İki kütle arasındaki mesafe,

olarak bilinmektedir. Temel üniversite kimyası birimlere göre; F yerçekimi kuvveti büyüklüğünün birimi Newton (N)'dur. G yerçekimi ivmesi $6.67 * 10^{-11} Nm^2/kg^2$ yaklaşık olarak bilinir. Kütleler M_1 ve M_2 kilogram (kg)'dır. R mesafesi ise metre (m)'dir.

Newton 1687'de doğal bilimlerin matematik ilkeleri adlı kitabında evrensel kütle çekim yasasını tanımlamıştır. Bu kitap klasik mekaniğin temellerini oluşturduğundan tarih açısından en önemli kitaplar arasındadır. Newton bu kitapta 3 temel hareket yasasından bahsetmiştir [63].

Newton eylemsizlik kanununda; bir cisim üzerine etki eden bileşke kuvvet sıfır olduğunda, cisim durgun ise durmaya devam edecek, hareketli ise sabit hızda doğrusal hareketine devam edeceğini belirtmiştir. Böylelikle sistem ivmelenmeyen sistem olarak adlandırılmıştır. Hızdaki herhangi bir değişimin veya yönünün değişmesi bir ivmedir. Herhangi bir ivme kuvvet gerektirir. Bu Newton'un 1. Hareket kanunudur. Denklem (2.2)'deki 2. Kanuna göre bir cisme uygulanan kuvvet, cismin kütlesi ile ivmesinin çarpımına eşittir [63].

$$F = m \times a \quad (3.2)$$

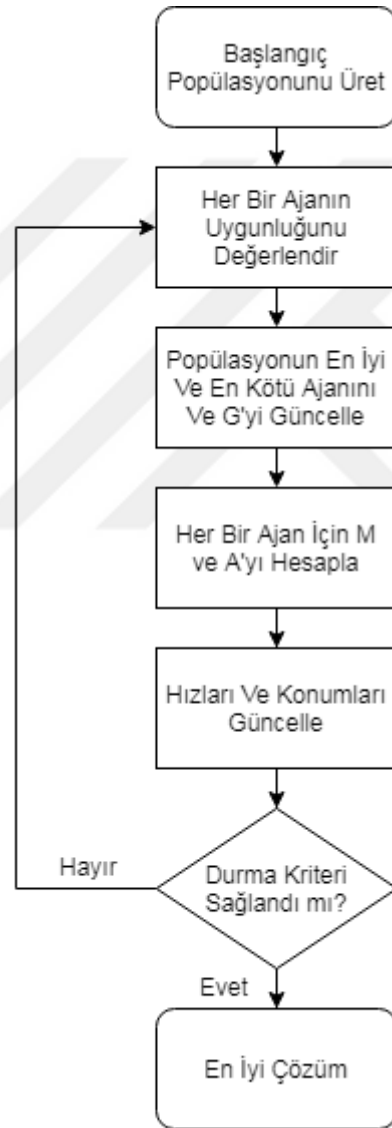
Fiziğe göre kütlesi olan nesnelere birbirlerine doğru hızlanma eğilimi olmaktadır. Newton'un yerçekimi kanununa göre her bir parça diğer parçayı belli bir güçle çekmektedir. Bu güce yerçekimsel güç demiştir. YAA ise 2009'da Rashedi ve arkadaşlarının bu kanundan esinlenerek oluşturduğu bir algoritmadır. YAA'da kütleler denilen bir dizi ajan, Newton yerçekimi ve hareket kanunlarının simülasyonu ile optimal çözüm oluşturmak üzere tanımlanır [3], [64].

3.1. YERÇEKİMİ ARAMA ALGORİTMASI

Rashedi ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmaya göre YAA'nın akış şeması Şekil 3.2'de verilmiştir [3]. Standart YAA adımları şu şekildedir;

- 1- Arama alanını tanımlama
- 2- Rastgele başlatma

- 3- Ajanların uygunluk değerlerinin tespiti
- 4- $i = 1, 2, \dots, N$ için $G(t)$, $best(t)$, $worst(t)$ ve $M_i(t)$ değerlerini tekrar güncelleme
- 5- Farklı yönler içerisindeki toplam kuvveti hesaplama
- 6- İvme ve hızı hesaplama
- 7- Ajanların pozisyonlarını güncelleme
- 8- 3'den 7'ye kadar olan adımları verilen kritere ulaşıncaya kadar tekrarlama
- 9- Sonlandırma



Şekil 3.2.YAA'nın akış diyagramı

Aşağıda algoritmayı daha iyi anlayabilmek için etkin uyarılardan ve YAA özelliklerinden bahsedilmiştir.

- Her bir ajan diğzerinin performansından etkilenmektedir, bu sebeple yerçekimi kuvveti bilgi aktarma ve ajanlar arası iletişim aracıdır.
- Bir ajanın kuvveti onun komşularından etkilenir, bu sebeple pozisyon alma yönünden ajanın kuvvetini çevredeki alanda bulabilirsiniz.
- Ağır bir ajan etkili büyük bir çekim yarıçapına ve çekim yoğunluğuna sahiptir tanımı yapılmıştır. Bu tanıma göre yüksek performanslı ajanların büyük bir yerçekimi kuvvetine sahip olduğu söylenebilir. Neticede ajanlar, en iyi ajana doğru hareket etme eğilimindedirler.
- Eylemsizlik kütlesi harekete karşı durur ve ajanın hareketlerini azaltır. Bu yüzden kütlesi ağır olan ajanlar yavaş hareket ederler ve yerel arama alanını araştırırlar.
- Yerçekimi parametresi araştırmanın doğruluğunu düzenlerken zamanla birlikte azalmaktadır.
- YAA bellek azaltıcı algoritmadır. Ancak bellek algoritmaları gibi etkili çalışır.
- YAA'da yerçekimi ve eylemsizlik kütleleri aynı varsayılmıştır. Araştırma uzayı içerisinde büyük bir eylemsizlik kütlesi ajanın hareketini yavaşlattığı için yerçekimi kütlesi ajanın daha çabuk hareket etmesine neden olur. Bu sebep de hızlı bir yakınsama özelliğinin kazanılmasını sağlamıştır [65].

3.2. SİNÜS KAOTİK HARİTA OPERATORÜ

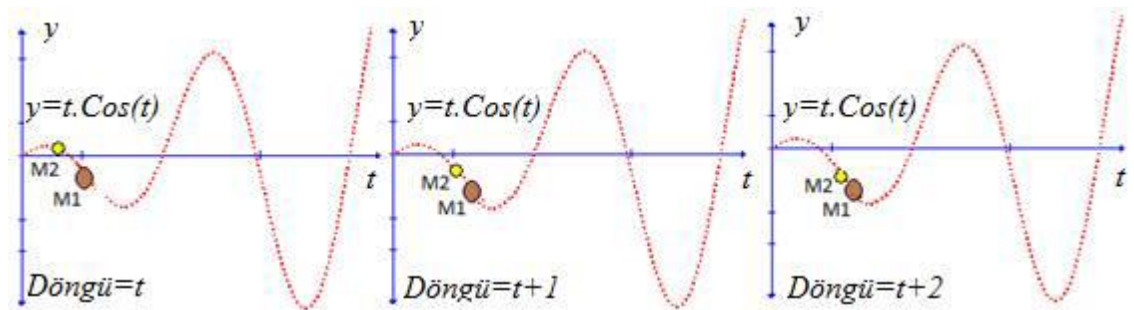
Ferzan [65] yapmış olduğu doktora çalışmasında kaotik sarsıntılı operatörün YAA uygulaması sonucunda geliştirdiği Kaotik Sarsıntılı Yerçekimi Arama Algoritması (KSYAA) bu tez çalışmasında kullanılmıştır. Ferzan [65] geliştirdiği algoritmayı test fonksiyonlarına sokarak KSYAA'nın, YAA'dan daha üstün olduğunu göstermiştir.

Kaos teorisi periyodik, doğrusal olmayan (non-linear), dinamik ve bağlantılı ögeler ile karakterize edilen kompleks sistemleri incelemeye yarayan, kavramsal, matematiksel ve geometrik yöntemlerin bileşimidir. Kaos teorisi, kaos kavramı ile teknik olarak uyumlu olmayan bir dizi karmaşık, dinamik ve doğrusal olmayan sisteme uygulanmıştır. Kaos, tamamen periyodik öngörülebilir düzenin ortasındaki sistemlerden, kendini hiçbir şekilde tekrar etmeyen sistemlere kadar geniş bir sistemde görülebilir. Bu sistemlere hava koşulları, hisse senetleri ve piyasa hareketleri, endüstriyel uğraşlar ve geniş sosyal sistemler örnek olarak gösterilebilir. Bu uygulama alanları, belirleyici (deterministik),

kaotik (chaotic) ve tesadüfi (random) olarak bilinen üç tür süreç içerisinde, dengesizlik teorisi, self organizasyon teorisi, doğrusal olmayan dinamik sistem, karmaşık sistemler ve karmaşık adaptif sistem teorisi ile bağlantılıdır. Kaotik sistemlerin tüm önemli sınıflandırmaları içinde adı geçtiği düşünülürken (konservatif, dağılımcı, kuantum) çalışmaların çoğu kargaşanın dağılımcı sistemler üzerinde yoğunlaştığı belirtilmiştir. Bütün kompleks sistemler ve non-linear sistemlerin fenomenlerin kaotik olmadığı vurgulanarak, çalışmalara göre bütün kaotik sistemlerin non-linear olmadığı ve öngörülemezlikleri varsayılır [66][67][68].

Kaotik, doğrusal olmayan deterministik karmaşık davranışlar olarak tanımlanmaktadır. 1963 yılında Lorenz tarafından kaotik işlem tanımlaması yapılmış ve güneş desenlerinin modellenmesi için doğrusal olmayan diferansiyel eşitlik sistemi olan Lorenz Cezp Edicisi olarak bilinen sistemlerde kullanılmıştır [69]. Kaotik literatürde çok farklı alanlarda kullanılmıştır. Bunlardan bazıları, kaotik haritalı balina optimizasyon algoritması [70], kaotik bir haberleşme sisteminin simüle edilmesi [71], otonom olmayan bir kaotik sistem ve uygulaması [72], Otonom olarak kaotik devre tasarımı [73], şifrelemede kaotik sistemin kullanılması [74] gibi mühendislik alanlarında literatürde kullanılmıştır.

YAA'da yapılan birçok araştırmaya göre belli bir döngü sonrasında yerel minimuma takılmış, son döngülere yaklaşıldığında ajanlar bu bölgeden çıkamayıp aramanın kötü sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Bu davranış YAA'nın dezavantajlarından biri olarak dile getirilmiştir [14], [15]. Bu durumu Ferzan Şekil 3.3'deki gibi tanımlamıştır.



Şekil 3.3. Yerel minimuma yaklaşma ve takılma durumu [65].

Şekil 3.3'de YAA algoritmasının yerel minimuma yaklaşma ve takılma durumu basit bir $y = t.Cos(t)$ amaç fonksiyonu üzerinden grafik ile gösterilmiştir. Sistemde iki ajanın arama yaptığı, ilk döngülerdeki yüksek $G(t)$ değerlerinin bittiği aramanın orta evreleri olduğu varsayılmış. Kütleleri küçük olan ajanlar az da olsa kütleleri ağır olan ajanları

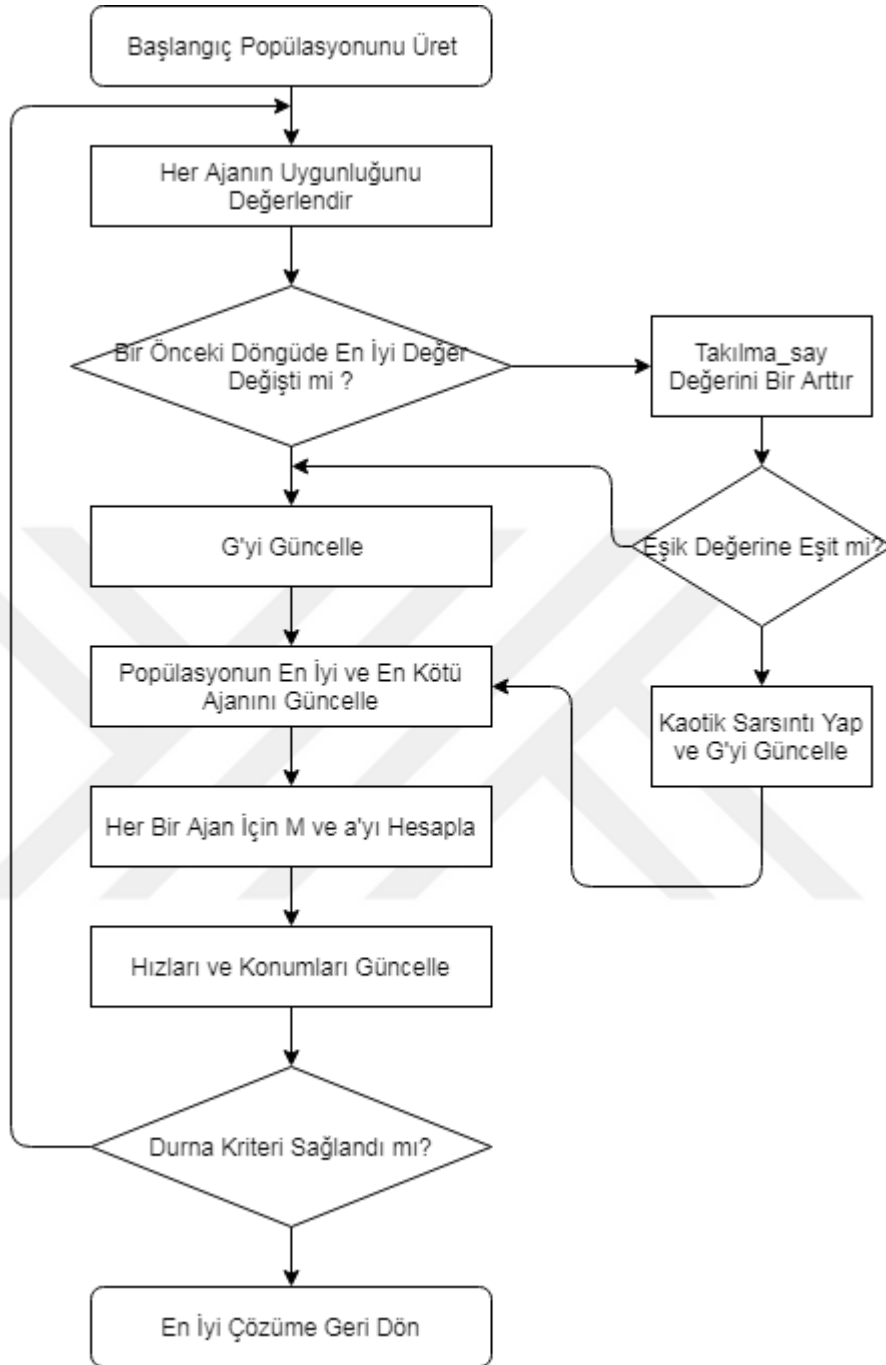
kendilerine çektiğinden ağır ajanın yerel minimuma yaklaşmasını önler. M1 ajanını kütlesi M2 ajanına göre yüksek olduğu için M2 ajanını kendisine doğru çekmekte, ağırlığından dolayı ise yavaş hareket etmektedir. M2 ajanı da kütlesi az da olsa M1 ajanını kendine çektiğinden yerel en küçük değere yaklaşmasını önlemektedir. $G(t)$ değerinin azalmasından dolayı ajanların hızları ve pozisyonlarındaki değişim oranı azalmıştır. Bu sebeple M1 ve M2 ajanı fonksiyonun sağ tarafında yer alan küresel minimum değerini hızı düşük olduğu için yakalayamaz ve yerel minimum çevresinde arama yapmak zorunda kalır. Bu dezavantajdan dolayı da son döngülere yaklaşıldığından yerel minimuma takılı kaldığından küresel en iyi değeri veremez [65].

Her döngü için bulunan en iyi sonucun bir önceki döngü ile karşılaştırılmasıyla YAA arama sürecindeki en iyi değeri bulma işlemi yapılabilir. Aramanın başlangıç ve orta evrelerinde en iyi sonuç değeri döngü sayısı arttıkça değişmiyor ise yerel en küçük değere takılma durumu ortaya çıkmış veya arama kötü bölgelerde aranıyor sonucu ortaya çıkmaktadır. Ajanların yerçekimi parametresinin azalmasından dolayı hızları yavaşladığından dolayı yerel minimumdan kurtulması zorlaşmaktadır. Algoritma içerisinde her döngüde ajanların yeni pozisyonlarını bulabilmek için yerçekimi parametresinin zamana bağlı üstel fonksiyon ile her döngüde azalan şekilde belirlenmektedir. Ancak bu değişim aramanın bu bölgeden kurtulmasına engel olamamaktadır [65].

Yukarıda asıl problemden yani yerel minimuma yaklaşarak orada takılmış olan ajanlardan bahsedilmiştir. Problemin çözümünde ise takılı kalmış ajanları çıkartmak ve yeni arama bölgelerine yönlendirmek gerekir. Bunun için Ferzan yerel minimuma takılma veya kötü bölgede arama yapma durumunun tespiti için aşağıdaki sözel koda ve algoritmaya yer vermiştir [65].

```
for döngü=1 den maksimum döngüye
    Uygunluk değerlerini hesapla; Uygunluk değerlerinin en küçüğünü bul best olarak yaz;
    if döngü==1 then
        best değerini küresel Fbest değerine yaz;
    end if
    if best<Fbest then (En küçük bulma işlemi için)
        Fbest:=best; Takılma_say değerini sıfırla;
    else
        Takılma_say değerini bir artır;
    end if
    Takılma_say değerini sayac dizinine kaydet;
end for
```

Şekil 3.4. Yerel minimuma takılma durumunun tespiti [65]



Şekil 3.5. Kaotik sarsıntılı operatörün akış şeması [65]

Problemin tespiti yapıldıktan sonra, yerel minimumdan kaçınmak ve arama algoritmasını daha dinamik hale getirebilmek için yerçekimi sabiti üzerinde küçük kaotik sarsıntı oluşturularak, ajanların hızları ve pozisyonlarının değiştirilmesi sağlanır. Şekil 3.6'da görüldüğü üzere, algoritmanın son arama evrelerine doğru en iyi değer her döngü için değişmesi istenmez. Bunun nedeni son evrelerde hassas arama

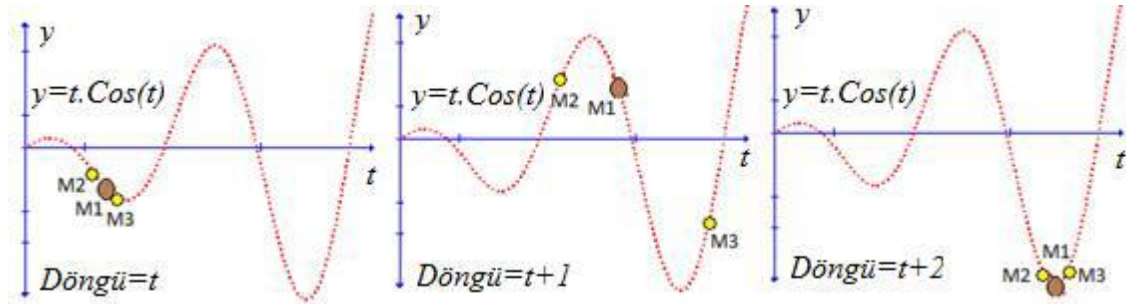
yapılacağından en iyi değer değişmeyebilir. Bu sebepten son döngüler içerisinde *Takılma_say* değerinin büyümesi konusu dikkate alınmaz [65].

```

for döngü=1 den maksimum döngüye
  if Takılma_say >= Eşik ve Döngü <(%75*maksimum döngü ) then
    Yerçekimi sabitini Kaotik Sarsıntı yöntemi ile hesapla:
     $G(t) = Sarsıntı(Döngü) + G_0 \cdot \exp(-\alpha \cdot t/T)$ ;
  else
    Yerçekimi sabitini Klasik yöntem ile hesapla:
     $G(t) = G_0 \cdot \exp(-\alpha \cdot t/T)$ ;
  end if
end for

```

Şekil 3.6. Kaotik sarsıntı oluşturma sözel kodu [65].



Şekil 3.7. Kaotik sarsıntı sonucu yerel minimumdan kurtulma durumu [65].

Özetle aramanın ilk ve orta evrelerinde yani döngü sayısının %75 inden az olduğu zamanlarda en iyi sonuç değeri Eşik sayısı kadar değişmemiş ise kaotik sarsıntı oluşturulur. Bu sarsıntı ile aramayı farklı bölgelere taşıma işlemi sağlanmış olur. Bu şartların dışında kalan durumlarda normal arama gerçekleştirilir ve olan durum korunur. Yerel minimuma takılma durumunda ve kötü arama gerçekleştirildiği zaman kaotik sarsıntı oluşturularak ajan hızları hızlandırılmış olacak ve bu kötü durumdan kurtulunmuş olunacaktır. Şekil 3.3’de bahsedildiği üzere $y = t \cdot \text{Cos}(t)$ probleminde ajanlar yerel minimumda takılmıştır. Şekil 3.7’de ise kaotik sarsıntı oluşturularak $G(t)$ ve ajan hızları büyüyerek sağ tarafta yer alan küresel minimum değeri yakalanmış olur [65].

En iyi değer değişmemesi durumunda kaotik sarsıntı uygulanacağından Denklem 3.3 uygulanarak yerçekimi sabiti ifadesine ulaşılır.

$$G(t) = Sarsıntı + G_0 \cdot \exp\left(-\alpha \frac{k}{K}\right) \quad (3.3)$$

Yukarıdaki Denklem 3.3’de “*Sarsıntı*” olarak adlandırılmış ve çalışma içerisinde kullanılan kaotik haritalar Çizelge 3.1’de verilmiştir. Çizelgede kaotik haritalar içerisinde rastgele özelliğini sağlayan kompetentler çıkartılmıştır. Bu çalışmada Çizelge 3.1’de verilen literatürde yaygın olarak kullanılmakta olan 1 numaradaki sinüzoidal fonksiyon 0.7 olarak alınmıştır [66].

Çizelge 3.1. Literatürde kullanılan kaotik fonksiyonlar [65].

NO	ADI	KAOTİK HARİTA	ARALIK
1	Sinüzoidal	$X_{i+1} = aX_i^2 \sin(\pi X_i)$, $a=2.3$	(0,1)
2	Lojistik	$X_{i+1} = aX_i(1 - X_i)$, $a=4$	(0,1)

Bu konuda Şekil 3.3’de yerel minimuma yaklaşma ve takılma, Şekil 3.4’de takılma durumunun programsal tespitinin yapılması, Şekil 3.5’de KSYAA algoritması akış diyagramı, Şekil 3.6’da kaotik sarsıntı oluşturma sözel kodu, şekil 3.7’de kaotik sarsıntı sonucu yerel minimumdan kurtulma durumları gösterilmiştir. Algoritma da KSYAA operatörü her döngünün başında öncelikle bir önceki döngüde en iyi sonuç değeri değişip değişmediğini sorgulayarak yerel minimuma takılıp takılmama durumunu tespit etmektedir. $G(t)$ ’nin güncellenmesiyle en iyi (*best*) ve en kötü (*worst*) ajanın güncellemelerinden ayrılmış ve bir önceki evrede tespit yapılmıştır. *Takılma_say* değeri eşik değere eşit ve büyükse kaotik sarsıntı oluşturulmuş olur ve $G(t)$ güncellenmiş olur. Bu evreden sonra algoritma standart YAA dizisine devam etmektedir [65].

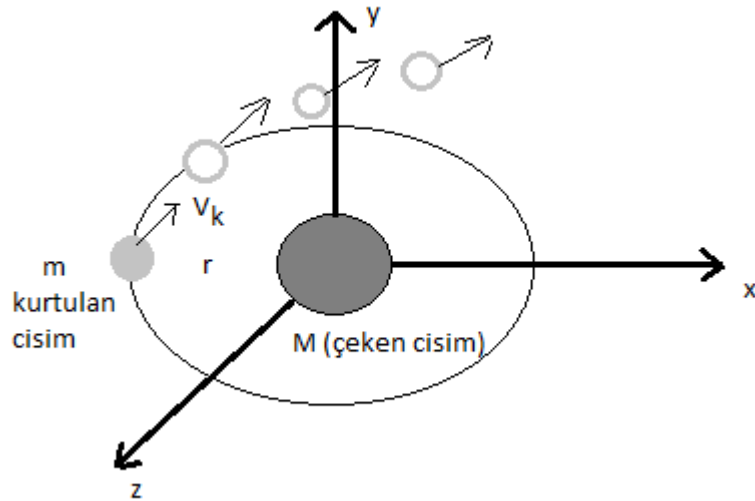
3.3. KURTULMA HIZI OPERATORU

Bu tez çalışmasında Ferzan’ın [65] Kurtulma Hızlı Yerçekimi Arama Algoritması (KHYAA) kullanılmıştır. Kurtulma hızı, uzayda üç boyutlu ortamda bulunan bir cisim kendini etkileyen çekim alanından kurtulması için gerekli olan minimum hız olarak söylenebilir. Örnek olarak uzaya gönderilen bir roketin dünyanın yerçekimi kuvvetinden kurtulabilmesi için gerekli olan minimum hızı olarak ifade edilebilir. Kurtulma hızına erişmiş bir cisim, kendini etkileyen çekim kuvveti yörüngesinde dolaşmaz veya geriye gelmez. Basit bir çekim alanından (tek merkezli) kurtulma durumu söz konusu olduğunda kurtulma hızı, cismin sahip olduğu kinetik enerjinin kütle çekimsel

potansiyel enerjiye eşit olduğu andaki değeridir [66].

Kurtulma hızı fizikte, üç boyutlu bir uzayda bulunan cismin kendisine etki eden kütle çekim alanından kurtulabilmesi için ulaşması gereken minimum hızdır. Örnek olarak dünyadan uzaya gönderilen bir roketin dünyanın yerçekimsel kuvvetinden kurtulabilmesi için ihtiyacı olan süratidir. Kurtulma hızına erişmiş olan cisim, kendisini geri çekmeye yönelten cisme karşı geri gelmez veya o cisim etrafındaki yörüngede hareket etmez [75]. Merkezi tek olan basit bir çekim alanındaki kurtulma durumu için kurtulma hızı, cismin sahip olduğu kinetik enerjinin kütle çekimsel potansiyel enerjiye eşit olduğu andaki değeridir [76].

Güneş sistemini 2 boyutlu düşündüğümüzde güneşi en büyük kütleli cisim varsayalım. Kütleli büyük olan en iyi ajanın (güneş) diğer ajanları (gezegen) çektiği ve grupsal hareket ettiklerini belirtebiliriz. Bu grupsal harekette güneşe en uzak bölgelerdeki gezegenlerin mesafeden dolayı toplam kuvvetlerinin düşük olduğu dolayısıyla hızlarında düşük olacağı denklem 3.15 ve 3.16'da hesaplanarak tespit edilmiştir. Böyle bir sonuçta hızlarının düşük olması arama alanının kötü bölgelerinde arama yapıldığı anlamına gelerek optimizasyon sonucuna katkısının azalması anlamına gelmektedir.



Şekil 3.8. Tek merkezli basit çekim alanındaki kurtulma hızı

Tek merkez olarak M cisminin çekim alanından bir m cisminin kurtulması Şekil 3.8'de ki sembolik şekilde gösterilmiştir. Buna göre herhangi bir cisim kurtulma hızına sahip olmaz ise M çekim alanından dışarı çıkamaz. Gerekli olan minimum kurtulma hızı için,

kaçan cismin minimum kinetik enerjisi çeken cismin çekimsel potansiyel enerjisine Denklem 3.4’de ki gibi eşitlenir.

$$\frac{1}{2}mV_k^2 = \frac{GMm}{r} \quad (3.4)$$

V_k Kurtulma hızı,

G Kütlelesel çekim sabiti,

M kaçılan cismin kütlesi,

m kaçan cismin kütlesi,

r cismin merkezi ile kurtulma hızının hesaplandığı nokta arasındaki mesafe.

$$V_k = \sqrt{\frac{2GM}{r}} \quad (3.5)$$

Ferzan, denklem 3.5’deki kurtulma hızını yapmış olduğu testte göre grupsal davranıştan daha fazla uzaklaştığını bu durumda ise katkılarının daha da azaldığını belirtmiştir. Bu durumu tersine çevirmek için grupsal davranışın dışında veya uzakta kalmış ajanların hızlarını arttırmak ve grup içerisine düşürmek için yukarıdaki kurtulma hızının negatif yönde eklenmesi ile sağlanabileceğini önermiştir. Bu şekilde arama alanı içerisinde sürü ve grupsal yaklaşımı en iyiye yaklaşıma sağlanmıştır [66].

OGA probleminin çözümü için öncelikle klasik YAA da ki $Kbest$ yaklaşımına benzer bir metot kullanılmış, her döngüde uzakta kalmış ajan sayısı belirlenmiş ve zamanla azalan $hbest$ parametresi kurtulma hızına tabii olacak ajan bilgisini vermiştir. Denklem 3.20, Kurtulma Hızı Yerçekimi Arama Algoritması olarak güncellenirse Denklem 3.6 hız denklemi elde edilmiş olunur.

$$V_k = -\sqrt{\frac{2G(t).Mb}{MesEn}} \quad (3.6)$$

Burada;

Mb bir önceki döngüde ajanlar arasındaki en büyük kütle,

$MesEn$ ajanların en iyi ajana olan mesafesini gösteren büyükten küçüğe doğru sıralanmış bir dizi,

$G(t)$ klasik YAA algoritmasındaki yerçekimi parametresidir.

En iyi uygun değere sahip ajana bul

for ajan=1 den maksimum ajana

İlgili ajanın fitness değerini bul

İf Eğer ajanın fitness değeri en küçük değer ise then

En iyi ajan değerine ata

end if

end for

$$a_i^d(t+1) = \frac{F_i^d(t)}{M_{ii}(t)} \quad \text{ivmeyi hesapla}$$

$$v_i^d(t+1) = rand_i * v_i^d(t) + a_i^d(t+1) \quad \text{Hız güncellemesini klasik yolla yap}$$

Son döngüde kurtulma hızına tabii olacak final_don değerini gir.

Kurtulma hızına tabii olacak hbest değerini hesapla, v_k hızlarını sıfırla

En iyi ajana olan mesafeleri büyükten küçüğe sırala ve MesEn dizisine sıra ile at

Maksimum kütle $Mb = \max(M)$ hesapla;

for ajan=1 den maksimum ajana

İf Eğer ilgili ajan en iyi değere sahip ajan ise then

for ajan=1 den maksimum hbest kadar

j değerini hbest içerisindeki ajana ata;

$$V_{kurtulma} = -sqr\left(\frac{2 * G * Mb}{MesEn(1, j)}\right);$$

$$V_k(j, :) = (rand(1, boyut) * V_{kurtulma});$$

end for

end if

end for

```

for ajan=1 den maksimum ajana
    if Grupsal davranışın dışında kalan uzak ajan ise then
        Kurtulma hızına sahip ajanlara klasik hızı ekle  $v_i^d(t + 1) = v_i^d(t + 1) + V_k(t)$ 
    else
        Klasik hızı kullan  $v_i^d(t + 1)$ 
    end if
end for

ajanların pozisyonlarını güncelle  $x_i^d(t + 1) = x_i^d(t + 1) + v_i^d(t + 1)$ 

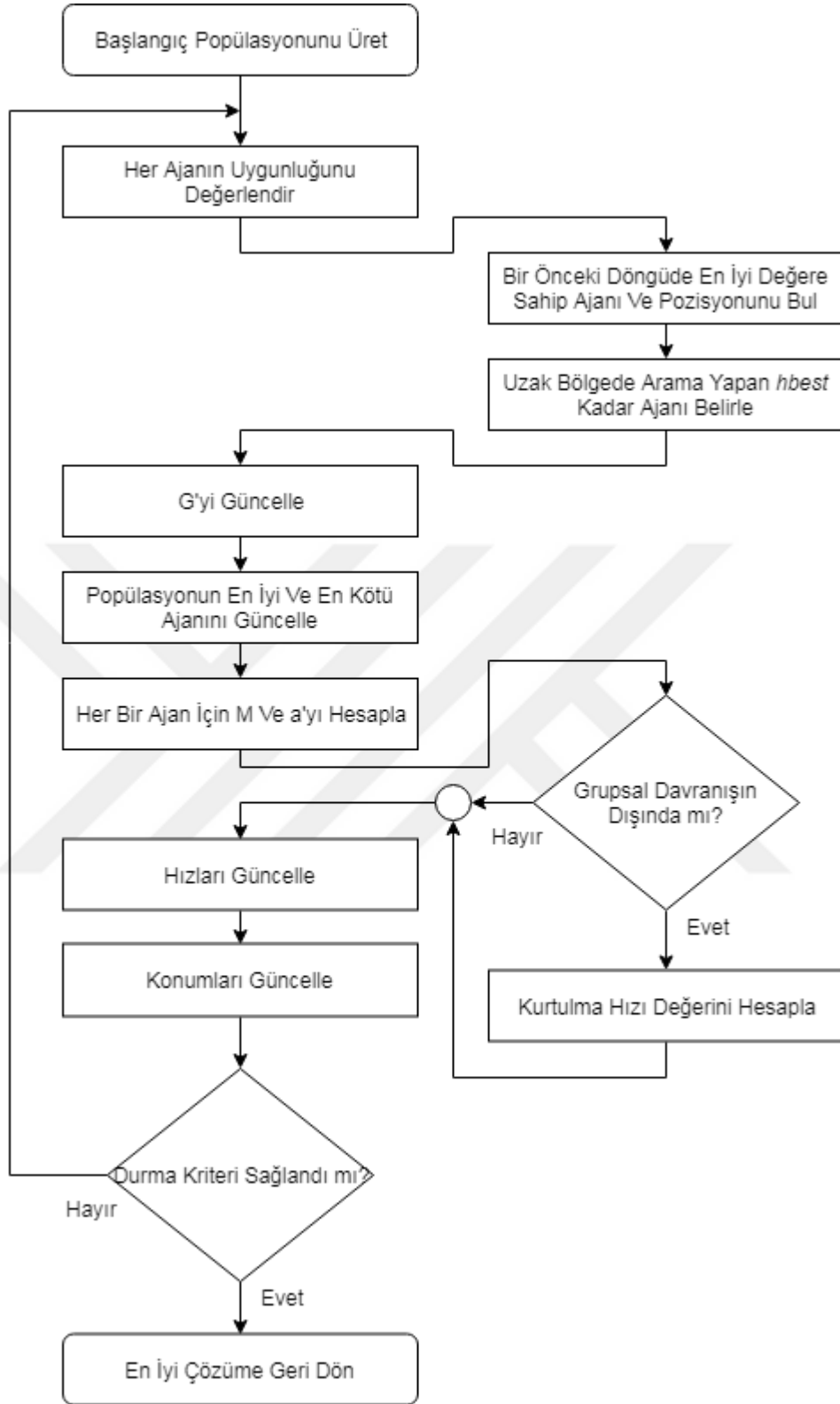
```

Şekil 3.9. KHYAA sözel kodu [66].

En uygun ajana sahip uygulamaya bul fonksiyonuna giren ajanların hızları Denklem 3.7’de klasik yolla hesaplandıktan sonra kurtulma hızları ile toplanarak son hızı elde edilir. Bu uygulamaya girmeyen ajanların kurtulma hızı hesaplanmaz klasik YAA kullanılmaya devam eder.

$$v_i^d(t + 1) = v_i^d(t + 1) + V_k(t) \quad (3.7)$$

KHYAA da ajanların pozisyonlarını ve ajanların hızlarını bulan algoritmanın sözel kodu Şekil 3.9’da verilmiştir. Öncelik *hbest* parametresi ile kurtulma hızına tabii olacak her döngüdeki ajan sayısı bulunmuştur. Ajanlar içerisinde bir önceki döngüde en iyi ajan olan “En” ajanına sıra geldiğinde diğer ona uzak olan *hbest* sayısı kadar ajanların kurtulma hızları hesaplanmıştır. Diğer ajanlara klasik hız hesabı yaptırılmıştır [66].



Şekil 3.100. KHYAA akış diyagramı

Standart YAA algoritmasına ilaveler yaparak KHYAA'nın algoritmasındaki akış diyagramı Şekil 3.10'da gösterilmiştir. Algoritmaya göre ilk döngünün başında *hbest* uzakta kalan ajan sayısı, bir önceki döngüdeki en iyi değere sahip ajanın değeri ve diğer

ajanlara olan mesafe bilgileri alınarak YAA'ya devam ettirilir.

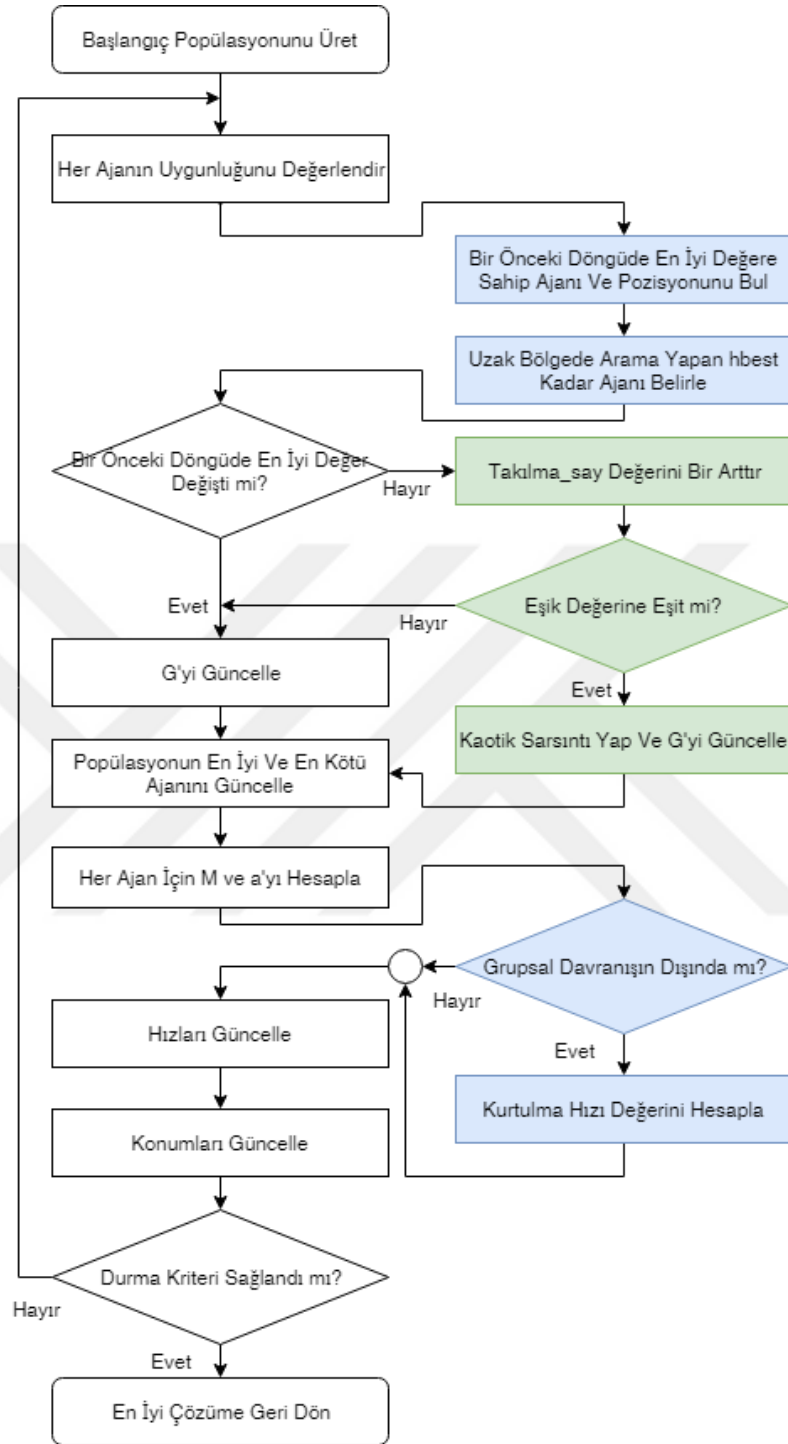
KHYAA'nın klasik çözüme göre en önemli avantajlarından birisi hız ve pozisyon güncellemelerinin ayrı işlem bölmelerinde yapılmasıdır. Hız güncellemelerinden önce ilgili ajanın uzakta olup olmadığına bakılır. Eğer uzakta kalan ajan gruba girmiyorsa klasik YAA'da ki hız güncellemesi yapılır. Uzakta ajan grubuna giriyorsa Denklem 3.7 belirlenen kurtulma hızı ve klasik hıza eklenme işlemleri yapılır. İki sınıfa ayrılmış ajan grubu pozisyonlarını güncelleyerek ana akış diyagramına devam ederler.

Şekil 3.10'daki uzakta bulunan ajan sayısı olan *hbest* değerini (örnek olarak başlangıçta %50 ajan) yüksek vermek yapılan deneysel çalışmalar sonucunda olumsuz sonuçlara yok açtığı gözlemlenmiştir. Bu yüzden *hbest* değerini toplam ajan sayısının %20'sini geçmeyecek şekilde vermek doğru olacaktır. KHYAA da yeni bir parametre olarak da MesEn'de yer almaktadır. En iyi değere sahip ajan grupsal davranışın merkezi gibi kabul edilmiş, diğer ajanların bu ajana olan mesafesi oklid mesafesi alınarak hesaplanmıştır. Tek boyut içerisindeki uzaklığından çok genel anlamı ifade ederken fikir vermesi amaçlı kullanılmıştır.

3.4. SİNÜS KAOTİK HARİTA VE KURTULMA HIZI TABANLI YERÇEKİMİ ARAMA ALGORİTMASI

Bu çalışmada YAA'na kurtulma hızı ve sinüzoidal kaotik harita operatörü eklenerek orijinal algoritma daha işlevsel hale getirilmiştir. Bu kapsamda evrensel olarak birlikte hareket etmeyen ajanların veya uzak bölgede kalmış ajanların hızlarına kurtulma hızı ekleyip güncelleyerek grup davranışına yaklaşımı sağlanabileceğinden faydalanılmıştır. Sinüzoidal kaotik harita operatörü ile yerel minimuma takılı kalmış, kötü bölgelerde arama yapan ajanların son döngülere doğru kötü sonuç vermesinden sarsıntı eklenerek global en iyi çözüme yaklaşabilme özelliğinden faydalanılmıştır. Bu yöntem Kaos ve Kurtulma Hızlı Yerçekimi Arama Algoritması (KKHYAA) olarak adlandırılmıştır. Şekil 3.11'de yeni algoritmanın akış diyagramı verilmiştir [77].

Algoritmada beyaz bölge orijinal algoritmanın gösterimi, mavi bölge kurtulma hızını, yeşil bölge ise kaotik sarsıntı bölgesini göstermektedir. Bu üçünün birleşiminden oluşturulmuş algoritma akış diyagramı şöyledir;



Şekil 3.111. KKHYAA akış diyagramı

Algoritmaya göre klasik YAA başlangıcı gibi her ajanın uygunluk değeri bulunur. Bu ajan bir sonraki döngüde önceki döngü ile kıyas yapılarak en iyi ajan olup olmadığı araştırılır. En iyi ajansa klasik YAA devam eder, değilse ajanın hızı yavaştır ve kötü bölgede arama yapıyor demektir, takılma say değeri 1 arttırılır. Bu durumda best değeri

bulundu ve küresel fbest değerine yazıldı. Aramanın ilk ve orta evrelerinde yapılan bu durumda en iyi değer değişmezse kaotik sarsıntı klasik YAA'da Denklem 3.3 ile yapılır. G, M ve a güncellenir. Ajanların grupsal davranışı incelenir özellikle uzakta kalmış ajanlarsa hızları düşük olduğundan kötü sonuç vereceği düşünülerek hbest bulunur ve Denklem 3.7'de verilen kurtulma hızı eklenir. Klasik YAA'da olduğu gibi hızlar ve konumlar güncellenerek durma sağlanır.

3.4.1. Geliştirilen Algoritmanın Uygulanması

Bu bölümde, geliştirilmiş yerçekimi arama algoritması tanıtılmıştır. Nesnelere ajan olarak tanımlanmış ve ajanların performansları kütleleri ile boyutlandırılmıştır. Bütün bu ajanlar birbirlerini yerçekimi kuvveti ile çekerken, daha ağır kütleli nesneye doğru hareket etmiş olurlar [78].

- 1- Başlangıç; YAA'da kullanılan yerçekimi sabiti (G), maksimum jenerasyon sayısının, bir kütle için diğer kütlelere yapacağı etkiyi hesaplamak için kullanılan küçük bir sabitin (ϵ) ilk değerlerinin tanımlandığı bölümdür.
- 2- Arama Uzayının Tanımlanması; sistemin kaç kütlede oluşacağı bölümdür. Kütleler arama uzayına random yerleştirilirler.

$$Xi = (x_i^1, \dots, x_i^d, \dots, x_i^n) \quad i = 1, 2, 3, \dots, N \quad (3.8)$$

Denklem 3.8'de tanımlanmış x_i^d , i . Kütle için d . boyuttaki konumunu vermektedir.

- 3- Yerçekimi Sabitinin Hesaplanması; Başlangıç kısmında tayin edilen sabit değer her jenerasyonda azaldığı bölümdür. Zamanla azalan yerçekimi sabiti ile arama hızı kontrol edilmektedir. Yerçekimi sabitinin jenerasyon ile değişiminin hesaplanmasında Denklem 3.9 kullanılır.

$$G(t) = G_0 x e^{(-\frac{\alpha k}{K})} \quad (3.9)$$

$G(t)$; t zamandaki evren yaşının yerçekimi sabitinin değeri,

G_0 ; yerçekimi sabitinin başlangıç değeri,

α ; kullanıcının belirlediği sabit bir değer,

k ; anlık jenerasyon değeri,

K ; maksimum jenerasyon sayısını göstermektedir.

- 4- Uygunluk Fonksiyonu ile Uygunluk Değerlerinin Hesaplanması; en iyi ve en kötü (best,worst) değerlerini hesaptan seçer.

Problem minimize edilmek istenirse;

$$best(k) = \min(fit_j(k)) \quad (3.10)$$

$$worst(k) = \max(fit_j(k)) \quad (3.11)$$

Problem maksimize edilmek istenirse;

$$best(k) = \max(fit_j(k)) \quad (3.12)$$

$$worst(k) = \min(fit_j(k)) \quad (3.13)$$

Denklem 3.10 – 3.13’de yer alan $j = \{1, \dots, N\}$ ’dir. $fit_j(k), j$. Kütlenin k . Jenerasyondaki uygunluk değeri, $best(k)$ ve $worst(k)$ ise sırayla k . Jenerasyondaki en iyi ve en kötü çözümü ifade etmektedir.

- 5- Her bir döngüde uzakta kalan ajan sayısını belirleyen ve zamanla azalan $hbest$ parametresi ile kurtulma hızına tabii olacak ajan bilgilerini bul final_don değerine gir.
- 6- Arama en iyi bölgelerde arama yapıyorsa devam et, kötü bölgelerde arama yapıyorsa takılma_say değerini 1 artır. Yani arama döngü sonlarında kötü bölümde kaldığı için kaotik sarsıntı yapılacağı bölümü tespit eder.
- 7- Eğer eşik değerine eşitse Denklem 3.3 ile kaotik sarsıntı yap ve G’yi güncelle.
- 8- Kütle Hesabı; arama uzayında bulunan bir kütlenin aktif yerçekimsel kütlesi, pasif yerçekimsel kütlesi ve eylemsizlik kütlesi birbirlerine eşit alınarak tüm kütlüler hesaplanır. Yani;

$$M_{ai} = M_{pi} = M_{ii} = M_i \quad i = 1, 2, 3, \dots, N \quad (3.14)$$

$$M_i(k) = \frac{fit_i(k) - worst(k)}{best(k) - worst(k)} \quad (3.15)$$

$$M_i(k) = \frac{m_i(k)}{\sum_{j=1}^N m_j(k)} \quad (3.16)$$

M_{ai} kütlenin aktif yerçekimsel kütlesi,

M_{pi} kütleinin pasif yerçekimsel kütlesi,

M_{ii} i . Kütlenin eylemsizlik kütlesi,

M_i eylemsizlik kütlesi,

$m_i(k)$ k . Jenerasyondaki i . Kütlenin değeridir. Bu normalizasyon işlemleri Denklem 3.14, 3.15 ve 3.16 da yapılmaktadır.

9- Kuvvet Hesabı; Newton'un evrensel yerçekimi kanunundan esinlenerek iki kütleinin birbirine uyguladığı kuvveti hesaplamak için, kütleler arası mesafenin kütleler çarpımına bölünmesi ile bulunur. İki kütle arasındaki kuvvet hesaplandıktan sonra bir kütleyle etkileyen toplam kuvvet hesaplanır

$$R_{ij}(k) = \|x_i(k), x_j(k)\|_2 \quad (3.17)$$

Denklem 3.17'de tanımlanan R_{ij} , k . Jenerasyondaki i ve j kütleleri arasındaki mesafeyi vermektedir. Bu kütleler arasındaki kuvvet ise Denklem 3.18 ile hesaplanır.

$$F_{ij}^d(k) = G(k) \frac{M_{pi}(k)M_{aj}(k)}{R_{ij}(k) + \varepsilon} (x_j^d(k) - x_i^d(k)) \quad (3.18)$$

$F_{ij}^d(k)$, k . Jenerasyonda d . boyuttaki i ve j kütleleri arasındaki kuvveti,

$G(k)$ yerçekimi sabiti,

$M_{pi}(k)$ ve $M_{aj}(k)$ k . Jenerasyondaki i . Kütlenin pasif ve aktif yerçekimsel kütlelerini,

ε kullanıcı tarafından atanan sabit bir değeri,

$x_j^d(k)$ ve $x_i^d(k)$ ise k . Jenerasyondaki i ve j kütlelerinin d . boyuttaki konumlarını belirtir.

Bir kütleyle etkileyen toplam kuvvet Denklem 3.14 ile yapılmaktadır.

$$F_i^d(k) = \sum_{j \in K_{best}, j \neq i}^N rand_j F_{ij}^d(k) \quad (3.19)$$

$rand_j$, $[0,1]$ aralığında verilen rastgele bir sayıdır. K_{best} başlangıçta K_0 kadar kütle ile başlayıp lineer olarak azalan bir değerdir.

10- İvme Hesabı; Newton'un ikinci yasası olan ivme yasasına dayanarak kütlelerin ivmeleri Denklem 3.20 ile hesaplanır.

$$a_i^d(k) = \frac{F_i^d(k)}{M_{ii}^d(k)} \quad (3.20)$$

$a_i^d(k)$ k. Jenerasyonda d . boyuttaki i . Kütlenin ivmesini verir.

11- Arama grupsal davranışın dışında ise Denklem 3.7'de verilen kurtulma hızı ekle.

12- Hız ve Konum Güncellemesi; kütlenin o andaki hızı ile o anda oluşan hız değişiminin yani ivmenin toplamına eşittir. Denklem 3.21'da verilmiştir.

$$V_i^d(k+1) = rand_i V_i^d(k) + a_i^d(k) \quad (3.21)$$

$rand_i$, $[0,1]$ aralığında atanan rastgele bir sayıdır.

İvme sistemdeki bir kütlenin yerini değiştirmeye yarar. Bu nedenden dolayı kütlenin konumunu güncellemesi gerekir. Denklem 3.22'de konum güncellemesi yapılmaktadır.

$$x_i^d(k+1) = x_i^d(k) + V_i^d(k+1) \quad (3.22)$$

13- Son; maksimum jenerasyon sayısına ulaşıldığında ya da minimum hata koşulu sağlandığında, amaç fonksiyonuna en uygun kütle seçilerek algoritma sonlanır.

4. SİMULASYON SONUÇLARI

Bu çalışmada, optimal güç akış problemi çözümü için geliştirilen yerçekimi arama algoritması önerilmiştir. Bu algoritma genetik algoritma, parçacık sürü optimizasyonu algoritması, yerçekimi arama algoritması, kurtulma hızlı yerçekimi arama algoritması, kaos eklentili yerçekimi arama algoritması ile Ek'lerde verilen tek modlu 1-7 test fonksiyonları, çok boyutlu 8-13 test fonksiyonları, çok modlu düşük boyutlu 14-23 test fonksiyonları ile 30 defa işleme sokulmuş ve sonuçları karşılaştırılmıştır.

Bu çalışma boyunca diğer literatür çalışmalarında olduğu gibi $G0=20$, $\alpha=100$, döngü=30, $N=30$, boyut=30, kaos başlangıç değeri 0.7 değişkenleri seçilmiş ve hiç değiştirilmemiştir. Tablolarda en iyi (minimizasyon) değer, ortanca (15. döngü) değer ve ortalama değerler ile kıyas yapılmıştır. İterasyon sayısı tek ve çok modlu test fonksiyonlarında 1000, çok modlu düşük boyutlu test fonksiyonlarında 500 alınmıştır.

Çizelge 4.1. Tek Modlu Test Fonksiyonları Sonuçları

		GA	PSO	YAA	KSYAA	KHYAA	KKHYAA
f_1	En iyi	9.6732	1.11×10^{-4}	9.41×10^{-19}	3.48×10^{-22}	2.63×10^{-21}	2.03×10^{-29}
	Ortancası	21.3478	1.4×10^{-3}	2.11×10^{-18}	2.03×10^{-23}	3.96×10^{-21}	2.63×10^{-28}
	Ortalaması	23.1591	2.3×10^{-3}	2.21×10^{-18}	8.10×10^{-16}	4.18×10^{-21}	1.04×10^{-28}
f_2	En iyi	0.7123	6.78×10^{-5}	1.49×10^{-9}	4.75×10^{-11}	1.95×10^{-10}	3.56×10^{-14}
	Ortancası	1.2134	0.0023	2.32×10^{-9}	1.27×10^{-11}	2.94×10^{-10}	1.59×10^{-13}
	Ortalaması	1.1123	2.0021	2.34×10^{-9}	8.11×10^{-8}	3.01×10^{-10}	2.29×10^{-12}
f_3	En iyi	395.78	139.77	98.35	2.25×10^{-18}	52.29	46.32
	Ortancası	569.10	226.89	222.21	2.97×10^{-22}	117.066	70.16
	Ortalaması	561.68	411.45	238.12	4.77×10^{-15}	116.48	93.54
f_4	En iyi	9.4512	5.4789	2.14×10^{-8}	2.51×10^{-11}	4.2×10^{-11}	8.3×10^{-12}
	Ortancası	11.8921	7.6723	3.19×10^{-8}	6.03×10^{-12}	6.37×10^{-11}	9.37×10^{-11}
	Ortalaması	11.6734	8.2144	3.51×10^{-8}	1.62×10^{-8}	0.16405	6.57×10^{-11}
f_5	En iyi	544.87	82.1987	25.69	25.69	25.02	21.01
	Ortancası	1110.21	$1.68 \times 10^{+2}$	26.14	26.14	26.11	22.91
	Ortalaması	1110.14	$3.7 \times 10^{+5}$	29.63	29.63	28.31	24.77
f_6	En iyi	4.1165	6.12×10^{-3}	9.45×10^{-17}	0	0	0
	Ortancası	24.5645	6.68×10^{-3}	2.11×10^{-16}	0	0	0
	Ortalaması	24.0321	0.0009	2.11×10^{-16}	0	0	0
f_7	En iyi	0.0431	0.0298	0.0431	0.07	0.00384	0.00113
	Ortancası	0.0587	0.0512	0.0587	0.06	0.01133	0.00205
	Ortalaması	0.567	0.0412	0.0567	0.51	0.01335	0.00291

Karşılaştırma test fonksiyonlarında “En İyi Değer”, döngünün “Ortancası”, verilen değerlerin “Ortalaması” referans olarak incelenmiştir. Çizelge 4.1’de tek modlu test fonksiyonlarına baktığımızda KKHYAA’nın GA, PSO, YAA, KSYAA, KHYAA ile

kıyas yapıldığında Fonksiyon 3 hariç ciddi bir fark atarak en iyi sonuçlar verdiği yorumlanmaktadır. Fonksiyon 6'da diğer algoritmalarla eşit sonucu vermiştir.

Çizelge 4.2. Çok Modlu Test Fonksiyonları Sonuçları

K.F		GA	PSO	YAA	KSYAA	KHYAA	KKHYAA
f_8	En iyi	$-1.2 \times 10^{+4}$	$-1.06 \times 10^{+4}$	-3.67×10^3	-9.05×10^3	-7.68×10^3	-9.69×10^3
	Ortancası	$-1.2 \times 10^{+4}$	$-2.79 \times 10^{+3}$	-2.91×10^3	-6.99×10^3	-6.22×10^3	-8.92×10^3
	Ortalaması	$-1.2 \times 10^{+4}$	$-9.98 \times 10^{+3}$	-2.91×10^3	-6.77×10^3	-6.19×10^3	-8.28×10^3
f_9	En iyi	3.7689	35.5423	8.98	8.95	8.87	5.90
	Ortancası	5.6897	56.5689	15.88	9.94	9.64	6.14
	Ortalaması	5.9876	55.1256	15.65	9.94	9.98	6.52
f_{10}	En iyi	1.3425	0.0034	2.87×10^{-9}	8.04×10^{-12}	1.72×10^{-11}	2.20×10^{-14}
	Ortancası	2.1342	0.0085	3.87×10^{-9}	2.24×10^{-12}	2.55×10^{-11}	2.47×10^{-14}
	Ortalaması	2.1458	0.0089	3.44×10^{-9}	1.97×10^{-9}	2.58×10^{-11}	2.79×10^{-14}
f_{11}	En iyi	1.0479	0.000611	1.43	0.0073	1.1453	0.00007
	Ortancası	1.1345	0.0076	3.78	0.0474	1.4254	0.00095
	Ortalaması	1.1578	0.0123	3.88	0.0515	1.6897	0.00206
f_{12}	En iyi	0.0139	0.000667	6.65×10^{-20}	3.80×10^{-24}	3.59×10^{-24}	3.36×10^{-25}
	Ortancası	0.0378	0.2311	2.54×10^{-19}	4.92×10^{-24}	4.24×10^{-24}	8.24×10^{-24}
	Ortalaması	0.0562	0.2345	0.0498	5.03×10^{-24}	8.12×10^{-24}	4.49×10^{-24}
f_{13}	En iyi	0.0251	1.3×10^{-31}	5.67×10^{-33}	7.95×10^{-23}	5.18×10^{-23}	3.23×10^{-24}
	Ortancası	0.0367	2.2×10^{-23}	2.54×10^{-32}	9.17×10^{-23}	1.12×10^{-22}	8.92×10^{-23}
	Ortalaması	0.0872	3.11×10^{-18}	2.89×10^{-32}	9.30×10^{-23}	8.43×10^{-22}	4.30×10^{-23}

Çizelge 4.2'de çok modlu test fonksiyon sonuçlarına baktığımızda Fonksiyon 8,10,11,12'de KHYAA'nın en iyi olduğu, Fonksiyon 9'da GA'nın gerisinde kaldığı, Fonksiyon 13'de ise YAA'nın daha iyi olduğu yorumlanmaktadır.

Çizelge 4.3. Çok Modlu Ve Çok Düşük Boyutlu Test Fonksiyonları Sonuçları

K.F.		GA	PSO	YAA	KSYAA	KHYAA	KKHYAA
f_{14}	En iyi	0.9980	0.9980	0.9980	0.9980	0.9980	0.9980
	Ortancası	0.9980	0.9980	3.30	0.9980	1.9920	0.9980
	Ortalama	0.9980	0.9980	4.72	1.1965	2.5051	0.9980
f_{15}	En iyi	0.0011	3.07×10^{-4}	0.0016	3.84×10^{-4}	3.20×10^{-4}	2.99×10^{-4}
	Ortancası	0.0017	7.02×10^{-4}	0.0022	0.00103	7.15×10^{-4}	3.38×10^{-4}
	Ortalama	0.0040	0.0028	0.0018	0.00107	7.69×10^{-4}	4.57×10^{-4}
f_{16}	En iyi	-1.0313	-1.0316	-1.0316	-1.0316	-1.0316	-1.0316
	Ortancası	-1.0315	-1.0316	-1.0316	-1.0316	-1.0316	-1.0316
	Ortalama	-1.0313	-1.0316	-1.0316	-1.0316	-1.0316	-1.0316
f_{17}	En iyi	0.3979	0.3979	0.3979	0.3979	0.3979	0.3979
	Ortancası	0.3980	0.3979	0.3979	0.3979	0.3979	0.3979
	Ortalama	0.3996	0.3979	0.3979	0.3979	0.3979	0.3979
f_{18}	En iyi	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
	Ortancası	5.70	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
	Ortalama	5.75	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
f_{19}	En iyi	-3.8628	-3.8628	-3.8628	-3.8628	-3.8628	-3.8628
	Ortancası	-3.8628	-3.8628	-3.8628	-3.8628	-3.8628	-3.8628
	Ortalama	-3.8627	-3.8628	-3.8628	-3.8628	-3.8628	-3.8628
f_{20}	En iyi	-3.3220	-3.3220	-3.3220	-3.3220	-3.3220	-3.3220
	Ortancası	-3.3217	-3.2031	-3.3220	-3.3220	-3.3220	-3.3220

	Ortalama	-3.3098	-3.2369	-3.3220	-3.3180	-3.2625	-3.2625
f_{21}	En iyi	-10.1527	-10.1532	-10.1532	-10.1532	-10.1532	-10.1532
	Ortancası	-2.6824	-5.1008	-10.1486	-10.1530	-10.1531	-10.1531
	Ortalama	-5.6605	-5.7496	-9.9541	-7.4141	-7.2196	-7.2196
f_{22}	En iyi	-10.4029	-10.4029	-10.4029	-10.4029	-10.4029	-10.4029
	Ortancası	-10.3932	-10.4029	-10.4029	-10.4029	-10.4029	-10.4029
	Ortalama	-7.3421	-9.1118	-10.4008	-10.4029	-10.4029	-10.4029
f_{23}	En iyi	-10.5364	-10.5364	-10.5364	-10.5364	-10.5364	-10.5364
	Ortancası	-4.5054	-10.5364	-10.5364	-10.5364	-10.5364	-10.5364
	Ortalama	-6.2541	-9.7634	-10.5364	-10.5364	-10.5364	-10.5364

Çizelge 4.3’de çok modlu ve çok düşük boyutlu test fonksiyon sonuçlarında ise Fonksiyon 14-23 arasında KKHYYA, Fonksiyon 16 ve 21 hariç diğer algoritmalar gibi sabit sonuçlar verdiği görülmektedir. Fonksiyon 16 ve 21’de GA daha iyi sonuç vermiş olduğu görülmüştür.

Literatürde bir çok algoritma bulunmaktadır. Bu algoritmaların test sonuçlarını daha iyi yorumlayabilmek için Formula 1 puanlama sistemine göre benchmarklardan alınan en iyi sonuçlar sıralatılmıştır. Bu sistem bir sezondaki formula 1 yarışlarının sıralanmasından esinlenerek Çizelge 4.4’de puanlamanın nasıl yapıldığı verilmiştir. Buna göre en iyi algoritmaya 25 puan verilmiş, sırayla 2. 3. 4. 5. ve 6. algoritmalara ise 18, 15, 12, 10, 8 puanları verilmiştir. Bu puanlamanın yapıldığı tablo Çizelge 4.5’de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Benchmark Test Fonksiyonları İçin Formula 1 Puanlama Sistemi

Formula 1 Puan Sistemi	BENCHMARK-30 Boyut									
Sıralama	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Puan	25	18	15	12	10	8	6	4	2	1

Çizelge 4.5. Benchmark Test Fonksiyonları İçin Önerilen Yöntemlerin Formula 1 Puanlamaları

	GA	PSO	YAA	KSYAA	KHYAA	KKHYAA
F1	8	10	12	18	15	25
F2	8	10	12	18	15	25
F3	8	10	12	25	15	18
F4	8	10	12	18	15	25
F5	8	10	15	15	18	25
F6	8	10	12	25	25	25
F7	12	15	12	8	18	25
F8	8	10	12	18	15	25
F9	25	8	10	12	15	18

F10	8	10	12	18	15	25
F11	12	18	10	15	8	25
F12	8	10	12	18	15	25
F13	8	18	25	12	10	15
F14	25	25	25	25	25	25
F15	8	18	10	12	15	25
F16	25	18	18	18	18	18
F17	25	25	25	25	25	25
F18	25	25	25	25	25	25
F19	25	25	25	25	25	25
F20	25	25	25	25	25	25
F21	25	18	18	18	18	18
F22	25	25	25	25	25	25
F23	25	25	25	25	25	25

İncelenen yöntemlerin alınan toplam puanlarına göre sıralaması Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Benchmark Test Fonksiyonları İçin Önerilen Yöntemlerin Toplam Puanına Göre Genel Sıralaması

Sıralama	Toplam Puan	Yöntem
1	537	KKHYAA
2	443	KSYAA
3	425	KHYAA
4	389	YAA
5	378	PSO
6	362	GA

Bu sonuçlar incelediğimiz algoritmalar arasında en iyi algoritmanın KKHYAA olduğu görülmektedir.

Geliştirilen algoritma IEEE-30 baralı test sisteminde simülasyonu yapılmıştır. Bu test sisteminde Şekil 2.1'de verildiği üzere 5 adet generatör gücü, 6 adet generatöre bağlı gerilim değeri, 4 adet transformatör kademe ayarlayıcısı ve 2 adet şönt kapasite toplam 17 değişken bulunmaktadır ve salınım barasında bir adet generatör bulunmaktadır. Sistemden talep edilen aktif güç ise 283,4 MW olarak verilmektedir. KKHYAA'nın etkinliğini incelemek için test sistemi üzerinde 4 adet farklı amaç fonksiyonları incelenmiştir [79]. Bunlar;

1. Genel maliyet hesabı,
2. Güç kaybı hesabı,

3. Valf nokta etkili maliyet hesabı,
4. Genel maliyet hesabı ve emisyon maliyeti hesabı.

Test sistemi boyunca döngü sayısı 5000 ve arama ajanı 100 olarak alınmıştır. Alınan sonuçlar literatürde bulunan YAA, güve sürü algoritması (GSA), kır kurdu optimizasyon algoritması (KKOA) ile karşılaştırılmıştır [79].

Çizelge 4.7. KKHYYAA Durum Değişkenleri Sonuçları

Değişkenler	Durum 1 (\$/sa)	Durum 2 (MW)	Durum 3 (\$/sa)	Durum 4 (\$/sa)
P_2	46.3212	80.000	44.4117	49.3847
P_5	21.2852	49.9999	18.3582	21.5281
P_8	20.4446	35.000	10.0000	22.5685
P_{11}	12.1995	30.000	10.0000	12.4387
P_{13}	12.0000	40.000	12.0000	12.0000
V_1	1.1000	1.1000	1.1000	1.1000
V_2	1.0814	1.0975	1.0794	1.0878
V_5	1.0503	1.0798	1.0537	1.0617
V_8	1.05863	1.0867	1.0647	1.0694
V_{11}	1.0209	1.0998	1.1000	1.0999
V_{13}	1.0502	1.1000	1.0997	1.1000
T_{6-9}	1.1000	1.0943	1.0039	1.0914
T_{6-10}	0.9787	0.9000	1.0741	0.9000
T_{4-12}	1.1000	0.9633	1.0043	0.9654
T_{28-27}	0.9987	0.9644	0.9690	0.9567

Q_{c10}	25.5566	25.2016	30.000	27.4110
Q_{c12}	12.0259	9.9851	10.6805	10.0739

Çizelge 4.7’de geliştirilen YAA’nın IEEE 30 Baralı sistem için önerilen optimizasyon sonuçları verilmektedir. Çizelge 4.8’de verilen durumlar için belirtilen hesap katsayıları 7.1 Ek 2’de verilmiştir. Toplam maliyet hesabında en az geliştirilmiş YAA ile elde edildiği gözükmemektedir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.8’de geliştirilmiş KKHYYAA; GSA, YAA ve KKOAA ile kıyaslanmıştır. Veriler incelendiğinde IEEE 30 baralı sistem için genel maliyet hesabı 800,0373 (\$/sa), güç kaybı hesabı 2,9067 (\$/sa) ve emisyon maliyetli genel maliyet hesabı 807,0637 (\$/sa) değerlerinin geliştirilmiş YAA ile daha iyi sonuç verdiği, valf nokta etkili maliyet hesabında ise KKOAA’nın daha iyi olduğu görülmektedir. Bu sonuç OGA’da KKHYYAA’nın daha etkin olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.8. KKHYYAA ve Diğer Algoritmaların Karşılaştırılması

Yöntem	Durum 1 (\$/sa)	Durum 2 (MW)	Durum 3 (\$/sa)	Durum 4 (\$/sa)
YAA	814.0366	4.396024	869.4663	820.3107
GSA	801.2198	3.742140	834.6651	809.0571
KKOAA	800.9215	2.906752	830.7100	807.0638
KKHYYAA	800.0373	2.906738	830.7169	807.0637

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, güç sistemleri alanında günümüzde önemli problemlerden olan optimal güç akışı problemi için Yerçekimi Arama Algoritması geliştirilerek çözümden kullanılmıştır. Yerçekimi Arama Algoritmasının kötü bölgelerde takılı kalıp arama yapmasını engellemek için kaotik sarsıntı kullanılmıştır. Uzakta kalan ajanların kötü sonuçlar verdiği tespit edilerek, bu ajanları iyi bölgelerde arama yapmaya teşvik etmek için kurtulma hızı kullanılmıştır. Geliştirilen algoritma 23 adet benchmark (tek modlu test fonksiyonları, çok modlu test fonksiyonları, tek modlu çok düşük boyutlu test fonksiyonları) test fonksiyonlarında test edilmiş, sonuçları GA, PSO, YAA, KSYAA, KHYAA ile karşılaştırılmıştır. Sonuçların daha iyi yorumlanabilmesi için formula 1 tabanlı sonuç puan tablosu hazırlanmıştır. Geliştirilmiş YAA'nın incelediğimiz algoritmalar arasında en iyisi olduğu tespit edilmiştir. Bu algoritma optimal güç akışı problemi için IEEE-30 baralı (5 adet generatör gücü, 6 adet generatöre bağlı gerilim değeri, 4 adet transformator kademe ayarlayıcısı ve 2 adet şönt kapasite toplam 17 değişken bulunmaktadır ve salınım barasında bir adet generatör bulunmaktadır) test sisteminde 4 durumda (genel maliyet hesabı, güç kaybı hesabı, valf nokta etkili maliyet hesabı, genel maliyet hesabı ve emisyon maliyeti hesabı) incelenmiş ve etkin sonuçlar verdiği görülmüştür. Simülasyon sonuçları GSA, KKOAA ve YAA algoritmalarıyla karşılaştırılmıştır. Geliştirilmiş KKHYYAA incelenen algoritmalar arasında iyi bir yer almıştır. Bu algoritma literatürdeki diğer problemlerin çözümünde kullanılması önerilmektedir.

6. KAYNAKLAR

- [1] S. Duman, U. Güvenç, Y. Sönmez, v N. Yörükeren, “Optimal power flow using gravitational search algorithm,” *Energy Conversion and Management*, 2012.
- [2] Optimizasyon Nedir?, (2019, 3 Mart). [Online]. Erişim: <http://www.ceyrekmuhendis.com/optimizasyon-nedir/>
- [3] E. Rashedi, H. Nezamabadi-pour, and S. G. Saryazdi, “A Gravitational Search Algorithm, Information Sciences,” *Information Sciences (Ny)*, 2009.
- [4] N. Yalçın, N., Çakır, S., Kesler, M., Kazak, “Yerçekimsel Arama Algoritması ile PID Denetleç Parametrelerinin Tespiti,” in *Elektrik - Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu*, 2012.
- [5] S. Özyon, C. Yaşar, H. Temurtaş, B. Durmuş, “Artırma/Azaltma Limitli ve Yasak İşletim Bölgesi Ekonomik Güç Dağıtım Problemlerinin Yerçekimsel Arama Algoritması ile Çözümü,” in *Elektrik - Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu*, 2012.
- [6] S. Özyon, C. Yaşar, B. Durmuş, H. Temurtaş, “Zıt konumlu Yerçekimsel Arama Algoritmasının Termik Üretim Birimlerinden Oluşan Emisyon Kısıtlı Ekonomik Güç Dağıtım Problemlerine Uygulanması,” in *Elektrik - Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu*, 2012.
- [7] S. Duman, U. Güvenç, and N. Yörükeren, “Gravitational search algorithm for economic dispatch with valve-point effects,” *International Review of Electrical Engineering*, 2010.
- [8] R. K. Swain, N. C. Sahu, and P. K. Hota, “Gravitational Search Algorithm for Optimal Economic Dispatch,” *Procedia Technology*, 2012.
- [9] B. Shaw, V. Mukherjee, and S. P. Ghoshal, “A novel opposition-based gravitational search algorithm for combined economic and emission dispatch problems of power systems,” *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 2012.
- [10] X. H. Han, L. Quan, X. Y. Xiong, and B. Wu, “Diversity enhanced and local search accelerated gravitational search algorithm for data fitting with B-splines,” *Engineering with Computers*, 2015.
- [11] A. Zhang, G. Sun, Z. Wang, and Y. Yao, “A hybrid genetic algorithm and gravitational search algorithm for global optimization,” *Neural Network World*, 2015.
- [12] S. Jiang, Z. Ji, and Y. Shen, “A novel hybrid particle swarm optimization and gravitational search algorithm for solving economic emission load dispatch problems with various practical constraints,” *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 2014.
- [13] M. Khajezadeh, M. R. Taha, A. El-Shafie, and M. Eslami, “A modified gravitational search algorithm for slope stability analysis,” *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2012.
- [14] B. Gu and F. Pan, “Modified gravitational search algorithm with particle memory ability and its application,” *International Journal of Innovative Computing*,

Information & Control, 2013.

- [15] S. Sarafrazi, H. Nezamabadi-Pour, and S. Saryazdi, "Disruption: A new operator in gravitational search algorithm," *Scientia Iranica*, 2011.
- [16] C. Li, H. Li, and P. Kou, "Piecewise function based gravitational search algorithm and its application on parameter identification of AVR system," *Neurocomputing*, 2014.
- [17] J. Vijaya Kumar, D. M. Vinod Kumar, and K. Edukondalu, "Strategic bidding using fuzzy adaptive gravitational search algorithm in a pool based electricity market," *Applied. Soft Computing Journal*, 2013.
- [18] H. Askari and S. H. Zahiri, "Decision function estimation using intelligent gravitational search algorithm," *International Journal of Machine Learning and Cybernetics*, 2012.
- [19] M. Doraghinejad, H. Nezamabadi-Pour, and A. Mahani, "Channel assignment in multi-radio wireless mesh networks using an improved gravitational search algorithm," *Journal of Network and Computer Applications*, 2014.
- [20] A. Hatamlou, S. Abdullah, and H. Nezamabadi-Pour, "A combined approach for clustering based on K-means and gravitational search algorithms," *Swarm and Evolutionary Computation*, 2012.
- [21] F. Katircioğlu, "En İyi Ajana Özel Davranış: Geliştirilmiş Yerçekimi Arama Algoritması," *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, 2018.
- [22] U. Güvenç, F. Katircioğlu, "En iyi ajana özel davranış: Geliştirilmiş yerçekimi arama algoritması," *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, cilt 3, sayı. 1, 2016.
- [23] U. Güvenç, F. Katircioğlu, "GSA Algoritmasının Değişkenlerinin İncelenmesi Ve En Uygun Değerlerin Tespiti," *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, cilt 4, sayı 1, 2015.
- [24] U. Güvenç, F. Katircioğlu, "YAA algoritmasının değişkenlerinin incelenmesi ve uygun değerlerinin tespiti," *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, cilt 3, sayı 1, ss. 24–35, 2015.
- [25] J. Carpentier, "Optimal power flows," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 1979.
- [26] C. Sumpavakup, I. Srikun, and S. Chusanapiputt, "A solution to the optimal power flow using artificial bee colony algorithm," in *2010 International Conference on Power System Technology: Technological Innovations Making Power Grid Smarter, POWERCON2010*, 2010.
- [27] U. Guvenc, B. E. Altun, and S. Duman, "Optimal power flow using genetic algorithm based on similarity," *Energy Education Science Technology Part A Energy Science and Research*, 2012.
- [28] M. Geidl and G. Andersson, "Optimal power flow of multiple energy carriers," *IEEE Transaction Power Systems*, 2007.
- [29] Y. Sonmez, U. Guvenc, S. Duman, and N. Yorukeren, "Optimal power flow incorporating FACTS devices using gravitational search algorithm," in *INISTA 2012 - International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications*, 2012.

- [30] K. Ayan, U. Kılıç, "Optimal Güç Akışı Probleminin Çözümü İçin GA, MA ve YAK Algoritmalarının Karşılaştırılması," in *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, 2011.
- [31] N. Tarkan ve Z. E. Aygen, "Elektrik Enerji Sistemlerinde Genetik Algoritma Kullanarak Optimizasyona Yeni Bir Yaklaşım," Doktora, Elektrik Mühendisliği ABD., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye 2002.
- [32] H. W. Dommel and W. F. Tinney, "Optimal Power Flow Solutions," *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, 1968.
- [33] A. M. H. Rashed and D. H. Kelly, "Optimal load flow solution using lagrangian multipliers and the hessian matrix," *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, 1974.
- [34] H. H. Happ, "Optimal power dispatch — a comprehensive survey," *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, 1977.
- [35] Ü. B. Filik ve M. Kurban, "Türkiye'deki 22 baralı 30 kV'luk güç sistemi için ekonomik dağıtım ve optimal güç akışı yöntemlerinin karşılaştırmalı analizi" *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilim. Derigisi*, cilt. 13, sayı 3, ss. 369–378, 2007.
- [36] D. Lukman and T. . Blackburn, "Modified algorithm of load flow simulation for loss minimization in power systems," in *Australian Universities Power Engineering Conference*, 2001.
- [37] Z. Yuan, Z. Hou, and C. Jiang, "Economic dispatch and optimal power flow based on chaotic optimization," in *PowerCon 2002 - 2002 International Conference on Power System Technology, Proceedings*, 2002.
- [38] B. E. Altun, "Benzerlik tabanlı genetik algoritma kullanarak optimal güç akışı," Yüksek Lisans, Elektrik Eğitimi ABD., Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye, 2011.
- [39] A. Doğan, M. Alçı, "Optimum güç akışının yapay arı kolonisi ile sağlanması," *Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu*, 2011.
- [40] A. Bakartzis, V. Petridis and S. Kazarlis "Genetic algorithm solution to the economic dispatch problem," *IEE Proceedings - Generation, Transmission and Distribution*, vol. 141, iss. 4, pp. 377-382, 1994.
- [41] D. C. Walters and G. B. Sheble, "Genetic algorithm solution of economic dispatch with valve point loading," *IEEE Transactions on Power Systems*, 1993.
- [42] S. O. Orero and M. R. Irving, "Economic dispatch of generators with prohibited operating zones: a genetic algorithm approach," *EE Proceedings - Generation, Transmission and Distribution*, 2002.
- [43] S. Özyön, C. Yaşar, H. Temurtaş, B. Durmuş, "Arttırma/azaltma limitli ve yasak işletim bölgesi ekonomik güç dağıtım problemlerinin yerçekimi arama algoritması ile çözümü," in *Elektrik - Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu*, 2012.
- [44] F. Capitanescu, M. Glavic, D. Ernst, and L. Wehenkel, "Interior-point based algorithms for the solution of optimal power flow problems," *Electric Power Systems Research*, 2007.

- [45] F. Capitanescu, "Critical review of recent advances and further developments needed in AC optimal power flow," *Electric Power Systems Research*, 2016.
- [46] A. Bhattacharya and P. K. Chattopadhyay, "Application of biogeography-based optimisation to solve different optimal power flow problems," *IET Generation, Transmission & Distribution*, 2010.
- [47] A. Bhattacharya and P. K. Roy, "Solution of multi-objective optimal power flow using gravitational search algorithm," *IET Generation, Transmission & Distribution*, 2012.
- [48] P. K. Adhvaryu, P. K. Chattopadhyay, and A. Bhattacharya, "Dynamic optimal power flow of combined heat and power system with Valve-point effect using Krill Herd algorithm," *Energy*, 2017.
- [49] A. Saha, A. Bhattacharya, P. Das, and A. K. Chakraborty, "Water evaporation optimization technique for static optimal power flow problems," in *IEEE 2017 International Conference for Convergence in Technology*, 2017.
- [50] L. Slimani and T. Bouktir, "Optimal Power Flow Solution of the Algerian Electrical Network using Differential Evolution Algorithm," *TELKOMNIKA (Telecommunication Comput. Electron. Control.)*, 2015.
- [51] O. Herbadji, K. Nadhir, L. Slimani, and T. Bouktir, "Optimal power flow with emission controlled using firefly algorithm," in *2013 5th International Conference on Modeling, Simulation and Applied Optimization, ICMSAO 2013*, 2013.
- [52] O. Herbadji and T. Bouktir, "Optimal power flow using firefly algorithm with consideration of facts devices 'UPFC,'" *International Journal on Electrical Engineering and Informatics*, 2015.
- [53] A. Salhi, D. Naimi, and T. Bouktir, "Optimal power flow resolution using artificial bee colony algorithm based grenade explosion method," *Journal Electrical Sysem.*, 2016.
- [54] B. Bentouati, S. Chettih, R. Djekidel, and R. A.-A. El-Sehiemy, "An Efficient Chaotic Cuckoo Search Framework for Solving Non-Convex Optimal Power Flow Problem," *International Journal of Engineering Reach Africa*, 2017.
- [55] N. Pamuk, "Enerji Sistemlerinde Yapay Arı Kolonisi Algoritması Kullanarak Yük Akışı Optimizasyonu," *XV. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri*, Akdeniz Üniversitesi, Antalya 2013.
- [56] A. Öztürk, S. Duman, "Genetik algoritma kullanılarak güç sistemlerinde optimal çalışma şartlarının belirlenmesi," *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi* cilt 24, sayı 3, ss. 539–548, 2009.
- [57] K. Ayan, U. Kılıç, "Optimal Reaktif Güç Akışının Kaotik Yapay Arı Kolonisi ile Çözümü," in *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, 2011.
- [58] H. R. E. H. Bouchekara, A. E. Chaib, and M. A. Abido, "Optimal power flow using GA with a new multi-parent crossover considering: prohibited zones, valve-point effect, multi-fuels and emission," *Electrical Engineering*, 2018.
- [59] O. Alsac and B. Stott, "Optimal load flow with steady-state security," *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, 1974.

- [60] P. P. Biswas, P. N. Suganthan, R. Mallipeddi, and G. A. J. Amaratunga, "Optimal power flow solutions using differential evolution algorithm integrated with effective constraint handling techniques," *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2018.
- [61] "Doğadaki temel kuvvetler.", (2018, 30 Kasım), [Online]. Erişim: <https://www.onlinefizik.com/dogadaki-temel-kuvvetler>
- [62] "Kuvvet nedir?", (2018, 30 Kasım), [Online]. Erişim: <https://www.fizikbilimi.gen.tr/kuvvet-nedir/>
- [63] A. Gabbey, "Isaac Newton. The Principia: Mathematical Principles of Natural Philosophy . Translated by, I. Bernard Cohen and Anne Whitman, assisted by, Julia Budenz. Preceded by 'A Guide to Newton's Principia ' by, I. Bernard Cohen". xviii-974 pp., *Isis*, 2004.
- [64] E. Rashedi, H. Nezamabadi-Pour, and S. Saryazdi, "BGSA: Binary gravitational search algorithm," *Natural Computing*, 2010.
- [65] F. Katırcıoğlu, "Yerçekimi Arama Algoritması İçin Yeni Operatörlerin Geliştirilmesi," Doktora Tezi, Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği ABD., Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye 2016.
- [66] L. M. Holden, "Complex adaptive systems: Concept analysis," *Journal of Advanced Nursing*, 2005.
- [67] C. G. Hudson, "At the edge of chaos: A new paradigm for social work?," *Journal of Social Work Education*, 2000.
- [68] T. J. Horton, "Competition or Monopoly? The Implications of Complexity Science, Chaos Theory, and Evolutionary Biology for Antitrust and Competition Policy," *Antitrust Bulletin*, 2017.
- [69] E. N. Lorenz, "Deterministic nonperiodic flow," in *Universality in Chaos, Second Edition*, 2017.
- [70] E. Tanyıldızı, T. Cigal, "Kaotik Haritalı Balina Optimizasyonu Algoritması," *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, cilt 27, sayı 1, 2019.
- [71] F. E. Yardım and E. Afacan, "Lorenz tabanlı diferansiyel kaos kaydırmalı anahtarlama modeli kullanılarak kaotik bir haberleşme sisteminin simülasyonu," *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, cilt 25, sayı 1, 2010.
- [72] S. Özoguz, S. Serkan, "Otonom Olmayan Bir Kaotik Sistem ve Uygulaması," Yüksek Lisans Tezi, Elektronik Mühendisliği ABD., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye 2005.
- [73] İ. Çavuşoğlu, Ü., Uyaroğlu, Y., Pehlivan, "Sürekli Zamanlı Otonom Kaotik Devre Tasarımı ve Sinyal Gizleme Uygulaması," *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi* cilt 29, sayı 1, 2004.
- [74] O. Fındık, "Şifrelemede Kaotik Sistemin Kullanılması," Yüksek Lisans Tezi, Bilgisayar Mühendisliği ABD., Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2004.
- [75] R. G. Brown, *Introductory Physics I Elementary Mechanics*. Duke University Physics Departmen.
- [76] "Kurtulma Hızı." (2018, 25 Aralık), [Online]. Erişim:

https://tr.wikipedia.org/wiki/Kurtulma_hızı

- [77] E. Can, U. Güvenç, “Sinüs Kaotik Harita ve Kurtulma Hızı Operatörleriyle Birleştirilmiş Yerçekimi Arama Algoritması,” *Uluslararası Marmara Fen ve Sosyal Bilimler Kongresi 2019 Bildiri Kitabı*, cilt 2, sayı. 2, ss. 2260–2267, 2019.
- [78] S. Duman, U. Güvenç, “Optimal power flow using gravitational search algorithm,” *Energy Conversion Management*, cilt 59, ss. 86–95, 2012.
- [79] E. Kaymaz, Y. Hınıslioğlu, U. Güvenç, “Optimal güç akışı probleminin kır kurdu optimizasyon algoritması ile çözümü,” in *Uluslararası Marmara Fen ve Sosyal Bilimler Kongresi (IMASCON2019)*, 2019.



7. EKLER

7.1. EK 1: TEST FONKSİYONLARI

Çizelge 7.1. Tek Modlu Test Fonksiyonları

Tek Modlu Test Fonksiyonları	Aralık
$F_1(x) = \sum_{i=1}^n x_i^2$	$[-100,100]^n$
$F_2(x) = \sum_{i=1}^n x_i + \prod_{i=1}^n x_i $	$[-10,10]^n$
$F_3(x) = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^i x_j \right)^2$	$[-100,100]^n$
$F_4(x) = \max_i \{ x_i , 1 \leq i \leq n\}$	$[-100,100]^n$
$F_5(x) = \sum_{i=1}^{n-1} [100(x_{i+1} - x_i^2)^2 + (x_i - 1)^2]$	$[-30,30]^n$
$F_6(x) = \sum_{i=1}^n ([x_i + 0.5])^2$	$[-100,100]^n$

$F_7(x) = \sum_{i=1}^n ix_i^4 + random(0,1)$	$[-1.28, 1.28]^n$
--	-------------------

Çizelge 7.2. Çok Modlu Test Fonksiyonları

Çok Modlu Test Fonksiyonları	Arahk
$F_8(x) = \sum_{i=1}^n -x_i \sin(\sqrt{ x_i })$	$[-500, 500]^n$
$F_9(x) = \sum_{i=1}^n [x_i^2 - 10 \cos(2\pi x_i + 10)]$	$[-5.12, 5.12]^n$
$F_{10}(x) = -20 \exp\left(-0.2 \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2}\right) - \exp\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \cos(2\pi x_i)\right) + 20$	$[-32, 32]^n$
$F_{11}(x) = \frac{1}{4000} \sum_{i=1}^n x_i^2 - \prod_{i=1}^n \cos\left(\frac{x_i}{\sqrt{i}}\right) + 1$	$[-600, 600]^n$

$F_{12}(x) = \frac{\pi}{n} \left\{ 10 \sin(\pi y_1) \right.$ $+ \sum_{i=1}^{n-1} (y_i - 1)^2 [1 + 10 \sin^2(\pi y_{i+1})] + (y_n - 1)^2 \left. \right\}$ $+ \sum_{i=1}^n u(x_i, 10, 100, 4)$ $y_i = 1 + \frac{x_i + 1}{4}$ $u(x_i, a, k, m) = \begin{cases} k(x_i - a)^m x_i > a \\ 0 - a < x_i < a \\ k(-x_i - a)^m x_i < -a \end{cases}$	$[-50, 50]^n$
$F_{13}(x) = 0.1 \left\{ \sin^2(3\pi x_1) \right.$ $+ \sum_{i=1}^n \left(\sum_{i=1}^n (x_i - 1)^2 [1 \right.$ $+ \sin^2(3\pi x_1 + 1)] (x_n - 1)^2 [1 + \sin^2(2\pi x_n)] \left. \right\}$ $+ \sum_{i=1}^n u(x_i, 5, 100, 4)$	$[-50, 50]^n$

Çizelge 7.3. Çok Modlu Ve Çok Düşük Boyutlu Test Fonksiyonları

Çok Modlu Ve Çok Düşük Boyutlu Test Fonksiyonları	Aralık
$F_{14}(x) = \left(\frac{1}{500} + \sum_{j=1}^{25} \frac{1}{j + \sum_{i=1}^2 (x_i - a_{ij})^6} \right)^{-1}$	$[-65.53, 65.53]^2$
$F_{15}(x) = \sum_{i=1}^{11} \left[a_i - \frac{x_1(b_i^2 + b_i(x_2))}{b_i^2 + b_i \cdot x_3 + x_4} \right]^2$	$[-5, 5]^4$

$F_{16}(x) = 4x_1^2 - 2.1x_1^4 + \frac{1}{3}x_1^6 + x_1x_2 - 4x_2^2 + 4x_2^4$	$[-5,5]^2$
$F_{17}(x) = \left(x_2 - \frac{5.1}{4\pi^2}x_1^2 + \frac{5}{\pi}x_1 - 6\right) + 10\left(1 - \frac{1}{8\pi}\right)\cos x_1 + 10$	$[-5,10] \times [0,15]$
$F_{18}(x) = [1 + (x_1x_2 + 1)^2(19 - 14x_1 + 3x_1^2 - 14x_2 + 6x_1x_2 + 3x_2^2)]$ $* [30 + (2x_1 - 3x_2)^2]$ $* (18 - 32x_1 + 12x_1^2 + 48x_2 - 36x_1x_2 + 27x_2^2)]$	$[-5,5]^2$
$F_{19}(x) = -\sum_{i=1}^4 c_i \exp\left(-\sum_{j=1}^3 a_{ij}(x_j - p_{ij})^2\right)$	$[0,1]^3$
$F_{20}(x) = -\sum_{i=1}^4 c_i \exp\left(-\sum_{j=1}^6 a_{ij}(x_j - p_{ij})^2\right)$	$[0,1]^6$
$F_{21}(x) = -\sum_{i=1}^5 [(x - a_i)(x - a_i)^T + c_i]^{-1}$	$[0,10]^4$
$F_{22}(x) = -\sum_{i=1}^7 [(x - a_i)(x - a_i)^T + c_i]^{-1}$	$[0,10]^4$
$F_{23}(x) = -\sum_{i=1}^{10} [(x - a_i)(x - a_i)^T + c_i]^{-1}$	$[0,10]^4$

7.2. EK 2: IEEE-30 BARALI SİSTEM VERİLERİ

Çizelge 7.4. IEEE-30 Baralı Generatör Sisteminin Ücret ve Emisyon Katsayıları [58], [59]

Gene ratör	Bara	a	h	c	d	e	α	β	γ	ω	μ
G_1	1	0	2	0.00 375	18	0.03 7	4.09 1	- 5.55 4	6.49	0.00 02	2.85 7
G_2	2	0	1.75	0.01 75	16	0.03 8	2.54 3	- 6.04 7	5.63 8	0.00 05	3.33 3
G_3	5	0	1	0.06 25	14	0.04	4.25 8	- 5.09 4	4.58 6	0.00 0001	8
G_4	8	0	3.25	0.00 834	12	0.04 5	5.32 6	-3.55	3.38	0.00 2	2
G_5	11	0	3	0.02 5	13	0.04 2	4.25 8	- 5.09 4	4.58 6	0.00 0001	8
G_6	13	0	3	0.02 5	13.5	0.04 1	6.13 1	- 5.555	5.15 1	0.00 001	6.66 7

Çizelge 7.5. IEEE-30 baralı test sistemi yük değerleri

Bara No	$P_{yük}$ (MW)	$P_{yük}$ (MVA _r)
1	0.00	0.00
2	21.70	12.70
3	2.40	1.20
4	7.60	1.60
5	94.20	19.00

6	0.00	0.00
7	22.80	10.90
8	30.00	30.00
9	0.00	0.00
10	5.80	2.00
11	0.00	0.00
12	11.20	7.50
13	0.00	0.00
14	6.20	1.60
15	8.20	2.50
16	3.50	1.80
17	9.00	5.80
18	3.20	0.90
19	9.50	3.40
20	2.20	0.20
21	17.50	11.20
22	0.00	0.00
23	3.20	1.60
24	8.70	6.70
25	0.00	0.00
26	3.50	2.30
27	0.00	0.00
28	0.00	0.00
29	2.40	0.90
30	10.60	1.90

Çizelge 7.6. IEEE-30 baralı test sistemi jeneratör değerleri

Jen No	$P_{G.i.min}$ (MW)	$P_{G.i.max}$ (MW)	$Q_{G.i.min}$ (MVA _r)	$Q_{G.i.max}$ (MVA _r)
1	50	200	-	-
2	20	80	-20	100
3	15	50	-15	80
4	10	35	-15	60
5	10	30	-10	50
6	12	40	-15	60

Çizelge 7.7. IEEE-30 baralı test sistemi hat değerleri

Baradan Baraya	R (pu)	X (pu)	Sus (pu)	Tap Ayar	MVA
1-2	0.01920	0.05750	0.02640		130
1-3	0.04520	0.18520	0.02040		130
2-4	0.05700	0.17370	0.01840		65
3-5	0.01320	0.03790	0.00420		130
2-5	0.04720	0.19830	0.02090		130
2-6	0.05810	0.17630	0.01870		65
4-6	0.01190	0.04140	0.00450		90
5-7	0.04600	0.11600	0.01020		70
6-7	0.02670	0.08200	0.00850		130
6-8	0.01200	0.04200	0.00450		32
6-9	0.00000	0.20800	0.00000	1.0155	65
6-10	0.00000	0.55600	0.00000	0.9629	32
9-11	0.00000	0.20800	0.00000		65
9-10	0.00000	0.11000	0.00000		65
4-12	0.00000	0.25600	0.00000	1.0129	65
12-13	0.00000	0.14000	0.00000		65
12-14	0.12310	0.25590	0.00000		32
12-15	0.06620	0.13040	0.00000		32
12-16	0.09450	0.19870	0.00000		32
14-15	0.22100	0.19970	0.00000		16
16-17	0.08240	0.19320	0.00000		16
15-18	0.10700	0.21850	0.00000		16
18-19	0.06390	0.12920	0.00000		16
19-20	0.03400	0.06800	0.00000		32
10-20	0.09360	0.20900	0.00000		32
10-17	0.03240	0.08450	0.00000		32
10-21	0.03480	0.07490	0.00000		32
10-22	0.07270	0.14990	0.00000		32
21-22	0.01160	0.02360	0.00000		32
15-23	0.10000	0.20200	0.00000		16
22-24	0.11500	0.17900	0.00000		16

23-24	0.13200	0.27000	0.00000		16
24-25	0.18850	0.32920	0.00000		16
25-26	0.25440	0.38000	0.00000		16
25-27	0.10930	0.20870	0.00000		16
28-27	0.00000	0.36900	0.00000	0.9581	65
27-29	0.21980	0.41530	0.00000		16
27-30	0.32020	0.60270	0.00000		16
27-30	0.23990	0.45530	0.00000		16
8-28	0.06360	0.20000	0.02140		32
6-28	0.01690	0.05990	0.00650		32



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Emre CAN
Doğum Tarihi ve Yeri : 21.04.1991 Düzce
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : emre@emrecan.com.tr

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği	Düzce Üniversitesi	2019
Lisans	Elektrik-Elektronik Müh.	Süleyman Demirel Üniversitesi	2015
Lise	Bilişim Teknolojileri	Düzce Anadolu Teknik Lisesi	2009

YAYINLAR

- [1] Can E., Güvenç U., “Sinüs Kaotik Harita ve Kurtulma Hızı Operatörleriyle Birleştirilmiş Yerçekimi Arama Algoritması”, Uluslararası Marmara Fen ve Sosyal Bilimler Kongresi (IMASCON2019), Kocaeli, Türkiye, 2019.
- [2] Güvenç U., Katırcıoğlu F., Can E., “Kaos ve Kurtulma Hızı Tabanlı Yerçekimi Arama Algoritması ile Optimal Güç Akışı”, IV. IMCOFE International Multidisciplinary Congress of Eurasia 2017, 2017.
- [3] Can E., Serçe E., Bingöl O., “Güneş Enerjili Android Cihaz Kontrollü Sulama Sistemi”, 3. Ulusal Sulama Sistemleri Sempozyumu, Ankara, Türkiye, 15-16 Ekim 2015.