

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ★BİLİŞİM ENSTİTÜSÜ**

**PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU  
İLE ANTEN TASARIMI**

**Yüksek Lisans Tezi  
Uzay Müh. İlke AKBULUT**

**Anabilim Dalı : Mühendislikte İleri Teknolojiler**

**Programı : Uydu Haberleşmesi ve Uzaktan Algılama**

**OCAK 2009**







**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ BİLİŞİM ENSTİTÜSÜ**

**PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU  
İLE ANTEN TASARIMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Uzay Müh. İlke AKBULUT  
(705051013)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 29 Aralık 2008**

**Tezin Savunulduğu Tarih : 26 Ocak 2008**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. M. Tayfun GÜNEL**

**Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Selçuk PAKER  
Doç. Dr. Ali YAPAR**

**OCAK 2009**





## **ÖNSÖZ**

İlk olarak sayın danışmanım Prof. Dr. Tayfun Günel'e, bana çalışmalarının bir parçası olmama izin verdiği, bilgi sınırlarımı genişlettiği, beni materyal ve moral açısından desteklediği ve tez çalışmamda verdiği sınırsız destek dolayısıyla teşekkür etmek istiyorum.

Aynı zamanda yüksek lisans eğitimim boyunca beni maddi ve manevi olarak destekleyen, her konuda yardımını benden esirgemeyen Prof. Dr. A. Rüstem Aslan'a teşekkür ediyorum.

Bunun yanı sıra, yüksek lisans eğitimim boyunca çalışmakta olduğum Uzay Sistemleri Laboratuvar'ındaki çalışma arkadaşlarım Can Kurtuluş, Taşkın Baltacı, Barış Toktamış, Melahat Cihan, Özgün Sarı, Elgiz Başkaya, Murat Ulusoy, Anıl Erkol'a; Kontrol ve Aviyonik Laboratuvar'ındaki arkadaşlarım Mehmet Ertan Ümit, Serdar Ateş, Emre Koyuncu, İsmail Bayezit, Miraç Aksügür ve Oktay Arslan'a ve Trisonik Araştırma Merkezi'nde görevli araştırma görevlisi dönem arkadaşım Besim Tayfun Aydın'a teşekkür ediyorum.

Son olarak beni eğitim hayatım boyunca destekleyen, hiç bir konuda benden desteğini esirgemeyen aileme teşekkür ediyorum. Onların anlayış ve sevgisinin benim için anlamını ifade edemem.

**Ocak 2009**

**İlke AKBULUT**



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa No

<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>v</b>
<b>KISALTMALAR</b> .....	<b>vii</b>
<b>ÇİZELGE LİSTESİ</b> .....	<b>ix</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>ix</b>
<b>PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU İLE ANTEN TASARIMI</b> .....	<b>xi</b>
<b>ÖZET</b> .....	<b>xiii</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>xv</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU</b> .....	<b>5</b>
2.1 Parçacık Sürü Optimizasyonu'nda Kullanılan Terimler.....	6
2.2 Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritması .....	8
2.3 Parçacık Sürü Optimizasyonu Parametreleri.....	11
2.3.1 Sürünün Büyüklüğü .....	11
2.3.2 İterasyon Sayısı .....	11
2.3.3 Bilişsel ve Sosyal Bileşenler .....	11
2.3.4 Atalet Bileşeni.....	12
2.3.5 En Yüksek Hız .....	12
2.3.6 Kısıtlama Faktörü.....	13
2.4 Parçacıkların Çözüm Uzayında Tutulması.....	13
<b>3. PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU ALGORİTMASI İLE GENETİK ALGORİTMANIN KARŞILAŞTIRILMASI</b> .....	<b>15</b>
3.1 Genetik Algoritma.....	15
3.1.1 Seçim.....	17
3.1.2 Çaprazlama.....	18
3.1.3 Mutasyon.....	19
3.2 Parçacık Sürü Optimizasyonu ile Genetik Algoritma Arasındaki Farklar .....	19
3.3 Parçacık Sürü Optimizasyonu ile Genetik Algoritmanın Sayısal Karşılaştırılması .....	20
3.3.1 Karşılaştırmada Kullanılan Algoritma Parametreleri.....	21
3.3.2 Test Fonksiyonlarına Göre Algoritmaların Yakınsama Sonuçları.....	21
<b>4. MİKRODALGA ANTEN TASARIMI UYGULAMALARI</b> .....	<b>25</b>
4.1 Mikroşerit antenler .....	25
4.1.1 Dikdörtgen Mikroşerit Anten.....	26
4.1.2 Dairesel Mikroşerit Anten.....	32
4.2 Horn Antenler.....	40
4.2.1 Piramit Şekilli Horn Anten .....	40
4.2.2 Konik Horn Anten.....	47
<b>5. SONUÇLAR</b> .....	<b>53</b>
<b>KAYNAKLAR</b> .....	<b>55</b>
<b>EKLER</b> .....	<b>59</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	<b>61</b>



## **KISALTMALAR**

<b>DAMA</b>	: Dairesel Mikroşerit Anten
<b>DİMA</b>	: Dikdörtgen Mikroşerit Anten
<b>GA</b>	: Genetik Algoritma
<b>GDDO</b>	: Gerilim Duran Dalga Oranı
<b>GHz</b>	: Gigahertz
<b>PSO</b>	: Parçacık Sürü Optimizasyonu



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa No

<b>Çizelge 3.1:</b> Rosenbrock Fonksiyonu Çözümleri .....	21
<b>Çizelge 3.2:</b> Rastrigin Fonksiyonu Çözümleri.....	22
<b>Çizelge 4.1:</b> DİMA Tasarım Sonuçları .....	30
<b>Çizelge 4.2:</b> DAMA İçin Maksimum Manyetik Akımlar .....	35
<b>Çizelge 4.3:</b> DAMA Tasarım Sonuçları .....	37
<b>Çizelge 4.4:</b> Piramit Horn Anten 3dB Demet Genişliği Denklemlerindeki Katsayılar .....	42
<b>Çizelge 4.5:</b> Piramit Horn Anten Tasarım Sonuçları .....	44
<b>Çizelge 4.6:</b> TE <sub>11</sub> Modu için Konik Horn Anten Demet Genişliği k-boşluk Parametreleri .....	48
<b>Çizelge 4.7:</b> Konik Horn Anten Tasarım Sonuçları.....	49



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa No

Şekil 2.1: Parçacık Sürü Optimizasyonu Akış Diyagramı.....	9
Şekil 3.1: Genetik Algoritma Akış Diyagramı .....	16
Şekil 3.2: Algoritmaların Rosenbrock Fonksiyonu için Yakınsama Durumları.....	22
Şekil 3.3: Algoritmaların Rastrigin Fonksiyonu İçin Yakınsama Durumları.....	23
Şekil 4.1: Dikdörtgen Mikroşerit Anten .....	26
Şekil 4.2: DİMA Tasarımında Algoritmaların Yakınsama Durumları .....	30
Şekil 4.3: DİMA $S_{11}$ Grafiği .....	31
Şekil 4.4: DİMA Işıma Diyagramı .....	32
Şekil 4.5: Dairesel Mikroşerit Anten .....	32
Şekil 4.6: DAMA Tasarımında Algoritmaların Yakınsama Durumları.....	38
Şekil 4.7: DAMA $S_{11}$ Grafiği.....	39
Şekil 4.8: DAMA Işıma Diyagramı .....	39
Şekil 4.9: Piramit Horn Anten .....	40
Şekil 4.10: Piramit Horn Anten Tasarımında Yakınsama Durumları.....	45
Şekil 4.11: Piramit Horn Anten $S_{11}$ Grafiği .....	46
Şekil 4.12: Piramit Horn Anten Işıma Diyagramı .....	46
Şekil 4.13: Konik Horn Anten .....	47
Şekil 4.14: Konik Horn Anten Tasarımı Yakınsama Durumları .....	50
Şekil 4.15: Konik Horn Anten $S_{11}$ Diyagramı .....	51
Şekil 4.16: Konik Horn Anten Işıma Diyagramı .....	51



## PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU İLE ANTEN TASARIMI

### ÖZET

Parçacık sürü optimizasyonu yakın tarihte ortaya konulmuş bir evrimsel hesaplama yöntemidir ve büyük gruplar halinde yaşayan arılar veya kuşlar gibi bazı canlıların sosyal davranışlarının analiz edilmesi sonucunda tasarlanmıştır. Parçacık sürü optimizasyonu bir problemi çözmek amacıyla bir sürüdeki her bir parçacığı olası bir çözüm olarak alır ve sürüdeki en iyi sonucu veren parçacık, sürünün en iyi parçacığı olarak tanımlanır. Belirli bir süre sonunda sürünün en iyi parçacığı, elde edilen çözümdür. Parçacık sürü optimizasyonunda parçacıkların değişimi veya başka bir deyişle evrim, yalnızca parçacığın rastgele sayılabilecek hız vektörüne bağlıdır. Bir parçacığın hızı, algoritma parametrelerine ve sürüdeki en iyi parçacığa bağlı olarak değişmektedir. Literatürdeki geçmiş çalışmalar parçacık sürü optimizasyonunun, üzerinde çalıştığı toplumun evrimi için mutasyon ve doğal seçim gibi daha karmaşık yöntemler kullanan genetik algoritmaya göre daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir. Bunun yanı sıra PSO, genetik algoritmaya oranla daha kolay bir biçimde uygulanabilmektedir. Algoritmanın uygulanabileceği çalışma alanlarından birisi de elektromagnetik ve mikrodalga araştırma konularıdır. Bu çalışmada parçacık sürü optimizasyonu algoritması mikrodalga frekanslarında çalışan antenlerin tasarımı probleminde uygulanmıştır. Antenlerin tasarım problemi, ışıma frekansı, giriş empedansı ve kazanç gibi arzu edilen anten karakteristiklerinin elde edilmesini sağlayacak fiziksel parametrelerin hesaplanması problemidir. Bu çalışma için kullanılan anten çeşitleri mikroşerit antenler ve horn antenlerdir. Parçacık sürü optimizasyonunun detayları ile antenlerin tasarım işlemleri, optimizasyon uygulamalarının sonuçlarıyla birlikte gösterilmiştir. Ayrıca parçacık sürü optimizasyonu ve genetik algoritma kullanılarak elde edilen sonuçlar ve algoritmaların yakınsama durumları birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Daha sonrasında parçacık sürü optimizasyonu kullanılarak elde edilen tasarımlar HFSS yazılımı aracılığı analiz edilmiş ve analizlerin sonuçları tasarım sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.



## **ANTENNA DESIGN USING PARTICLE SWARM OPTIMIZATION**

### **SUMMARY**

Particle swarm optimization is recently developed as an evolutionary computation method which can be considered as the mathematical modeling of social behaviours of large groups composed of living organisms, such as bees or birds. In order to solve a problem, particle swarm optimization method considers the position of a particle in a swarm as a possible solution and the particle which provides the best solution for the problem is called the best particle of the swarm. In PSO, the evolution or change of a particle is based only on the random velocity of the particle. The velocity of the particle changes according to the algorithm parameters and the best particle of the swarm. Besides being an easier approach, previous studies have shown that PSO performs better than genetic algorithm, which uses more complex methods like mutation and natural selection for evolution of a population. The areas the algorithm can be applied to are electromagnetics and microwaves. In this study, particle swarm optimization method is applied to the design problem of microwave antennas. The design problems of antennas consist of calculating physical parameters in order to obtain desired electromagnetics characteristics such as resonant frequency, input impedance or gain. The antenna types which are taken into account for this study are microstrip patch antennas and horn antennas. The details of PSO and the design procedure for antennas are presented as well as optimization results. Also results from both particle swarm optimization and genetic algorithm are compared to each other, questioning the convergences and results of the methods. Finally results obtained using particle swarm optimization are compared to analysis results obtained using HFSS simulation software.



## 1. GİRİŞ

Son yıllarda haberleşme teknolojisindeki gelişmeler ve gelinen noktada bütün elektronik cihazların tasarımlarında az yer kaplayan ürünlerin hem üreticiler hem de son kullanıcılar tarafından ilgi görmesi, bu cihazlarda kullanılan antenlerin de arzu edilen oranda küçültülmesini, başka bir deyişle az yer kaplayan antenlerden daha fazla verim alınması gerekli kılmıştır. Benzer şekilde uydu teknolojilerindeki gelişmeler ve uydu fırlatmanın maliyetinin azaltılabilmesi için uyduların boyutlarının küçültülmeye çalışılması, uydularda kullanılacak antenlerin yüksek verimli ancak küçük boyutlu antenler olması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Özellikle üniversitelerin eğitim amaçlı ürettikleri uydularda küçük boyutlar tercih edildiğinden bu uydularda kullanılacak şekilde antenler tasarlanması gerekmektedir. Antenlerin istenen elektromagnetik özelliklerde olmasını sağlayan problemlerin karmaşıklığı, bu problemlerin geleneksel yöntemlerle çözülmesini zor, bir çok durumda da imkansız kılmaktadır. Bu durumda devreye, daha karmaşık problemlerin çözülmesine olanak tanıyan sezgisel algoritmalar girmektedir.

Son 30 senedeki bir diğer önemli değişim de bilgisayarlı hesaplama tekniklerindeki gelişim ve optimizasyon problemlerinin çözümü amacıyla geliştirilen evrimsel algoritmaların ortaya çıkmasıdır. Bir optimizasyon probleminin boyutu büyüdükçe, bu problemin çözümüne ulaşmak zorlaşmaktadır. Böyle durumlarda devreye giren yöntem ise sezgisel ve rastgele arama algoritmalarıdır. Global optimizasyon ve arama problemlerinin çözümünde kullanılan bu yöntemler, probleme uygun bir algoritma ortaya koyulamadığında veya bu tarz bir yöntem kullanarak problemin çözülmesi pratik olmadığında devreye girerler.

İlk olarak 1950'li yıllarda araştırılmaya başlanan rastgele arama algoritmaları [1], daha sonra evrimsel algoritmaların ortaya koyulmasıyla birlikte geniş uygulama alanları bulmaya başlamışlardır. Evrimsel algoritmaların kökleri, üreme, seleksiyon, hayatta kalma gibi biyolojik evrime dayanmaktadır. Olası çözümler toplumdaki bireylerin yerini doldururken, uygunluk fonksiyonları sayesinde bireylerin hayatta kalma başarımlarının değerlendirildiği söylenebilir. 1970'li yıllarda John Holland

tarafından geliştirilen genetik algoritma, en bilinen evrimsel algoritmalarından birisidir. Son yıllarda ise parçacık sürü optimizasyonu, karınca kolonisi optimizasyonu ve Tabu araması gibi algoritmalar da çeşitli canlıların biyolojik hayatlarını örnekleyerek çözüme ulaşmaya çalışan algoritmalarlardır.

1995 yılında Eberhart ve Kennedy tarafından sunulan parçacık sürü optimizasyonu [2], hayvan sürülerinin hareketlerini canlandırarak problemlere çözüm bulmayı amaçlamaktadır. İlk olarak ortaya koyulduğundan beri bir çok araştırmacının dikkatini çeken bu algoritma, mühendislik, elektromanyetik, elektrik, yapay sinir ağları, yapısal optimizasyon ve genetik gibi bir çok alanda çok boyutlu problemlere uygulanmıştır[3-6]. Hem algoritmanın kullanılma alanlarının genişletilmesi, hem de algoritmanın kendisinin daha etkin bir biçimde çalışması için algoritmada kullanılan denklemler ve parametrelerin daha iyi sonuçlar verecek şekilde belirlenmesi, algoritma üzerine yapılan çalışmaların en önemli hedefleridir [3, 7-9].

Sonraki yıllarda parçacık sürü optimizasyonu, elektromanyetik alanlardaki problemlere de uygulanmaya başlamıştır. Çeşitli anten tasarımı problemlerinin çözümlerinde başarılı sonuçlar verdiği literatürdeki bir çok yayında gösterilmiştir [6,10-14].

Bu çalışmada amaç, mikrodalga frekanslarında çalışacak bazı antenlerin parçacık sürü optimizasyonu kullanılarak fiziksel tasarımlarının elde edilmesidir. Bu çalışma için parçacık sürü optimizasyonunun seçilmesinin sebebi bu algoritmanın hem daha önceki bazı çalışmalarda genetik algoritma gibi diğer optimizasyon algoritmalarına göre daha iyi sonuçlar vermesi hem de diğerlerine göre daha yeni olması sebebiyle geliştirilmeye açık olmasıdır [15-16].

Çalışmanın ikinci bölümünde parçacık sürü optimizasyonu algoritmasının detaylı bir çözümlemesi ve parametre seçimiyle ilgili bilgiler yer almaktadır. Sonraki bölümde parçacık sürü optimizasyonunun genetik algoritma ile karşılaştırılması, bazı test fonksiyonları üzerinden gerçekleştirilmiştir. Dördüncü bölümde bazı mikrodalga anten çeşitlerinin tasarımları ve bu antenlerin tasarım problemlerine parçacık sürü optimizasyonu ve genetik algoritmanın ayrı ayrı uygulanması sonrasında elde edilen sonuçlar yer almaktadır. Bu sonuçların elde edilebilmesi için hem parçacık sürü optimizasyonu hem de genetik algoritma yazılımları MATLAB® yazılımı aracılığıyla yapılmış olup, anten tasarım denklemleri yine bu yazılımda hazırlanmış, sonuçlar

2.00 GHz Intel® Pentium® işlemcili bir bilgisayarda hesaplanmıştır. Sonrasında tasarlanan antenlerin Ansoft HFSS™ yazılımı ile analizleri gerçekleştirilmiş olup, bu analiz sonuçlarının tasarımda elde edilen analitik denklemlerle aralarındaki uyum gözlenmiştir. Son bölümde çalışmanın sonuçları ve ileride bu konuda yapılabilecek çalışmalara yönelik önerilere yer verilmiştir.



## 2. PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU

Parçacık Sürü Optimizasyonu, 1990'lı yılların ortalarında bir sosyal psikolog olan James Kennedy ve bir elektrik mühendisi olan Russell Eberhart tarafından geliştirilmiş olan bir optimizasyon algoritmasıdır. Tabanında sosyal etkileşim yatan ve sürü zekâsını temel alan bu algoritma, biyolojik toplumlardaki toplu zekâyı araştıran sosyobilişsel bir çalışma sırasında kuş sürülerinin hareketlerinin temsilinin gerçekleştirilmesi sonucunda ortaya koyulmuştur. Parçacık Sürü Optimizasyonu'nun kökleri iki ana yönetime uzanmaktadır: yapay hayat (kuşların, balıkların yani genel olarak sürülerin hareketlerini inceleyen teori) ve evrimsel programlama [2].

Doğası gereği toplum temelli olan ve toplumun değişim geçirmesiyle işleyen bu algoritma, yalnızca basit matematiksel operatörler kullanması sayesinde diğer evrimsel hesaplama tekniklerinden ayrılmaktadır. Parçacık Sürü Optimizasyonu'nun bir çok global optimizasyon problemi için etkili bir çözüm yöntemi olduğu ve diğer evrimsel hesaplama yönteminin karşılaştığı bazı zorlukların üstesinden kolaylıkla gelebildiği Eberhart ve Kennedy tarafından gösterilmiştir[2].

Sürülerin zekâsına ve hareketlerine dayanan bu rastgele evrimsel hesaplama yöntemi, en iyi şu şekildeki gibi bir benzetme kullanılarak açıklanabilir [6]:

Bir tarladaki arı sürüsünü hayal edelim. Bu arıların amacı, o tarladaki çiçek yoğunluğu en fazla olan bölgeyi bulmaktır. Arıların tarla hakkında daha önceden gelen herhangi bir bilgiye sahip olmadığını varsayarsak arılar tarlanın rastgele bölgelerinde ve tamamen rastgele hızlarla uçarak çiçekleri aramaya başlarlar. Arama sırasında her bir arı en fazla çiçeği bulunduğu bölgeyi hafızasında tutmaktadır. Bu bilginin yanı sıra, diğer arıların bulunduğu çiçek yoğunluğu en fazla olan bölgeyi de bir şekilde bilmektedir. Kendisinin en fazla çiçeği bulunduğu bölge ile diğer arıların çiçek yoğunluğunun en fazla olduğunu bildirdiği bölgeye gitme arasında sürüncemede kalan arı, yörüngesini her iki yöne doğru da ivmelenecek şekilde değiştirir. Kararını kendi anılarının mı yoksa sosyal etkilerin mi daha fazla etkilediği sonucuna göre yörüngesi ya kendi bildiği çiçek yoğunluğu en fazla bölgeye doğrudur, ya da bütün sürünün bulunduğu en fazla çiçeğe sahip bölgeye doğrudur. Yolculuğu sırasında bir arı,

daha önce bulunduğuna göre daha fazla çiçeğe sahip bir bölgeye denk gelebilir. Böylesi bir durumda arı artık bu daha yoğun çiçeğe sahip yeni bölge ile bütün sürünün bulunduğu en fazla yoğunluğa sahip bölgeye doğru çekilmeye başlar. Bazen, bir arı daha önce sürüdeki herhangi bir arının bulunduğundan daha fazla çiçeğe sahip bir bölge bulabilir. Böyle bir durumda bütün sürü hareketini bu bölgeye doğru yönlendirir. Bu sayede arılar bütün tarlayı dolaşır, önce en yoğun olan bölgelerin üzerinden geçer, ardından o bölgelere doğru gerisin geriye hareketlenirler. Arıların bu uçuşu nihayetinde tarladaki çiçek yoğunluğu en fazla bölgeyi bulmalarını sağlar. Kısa bir süre içerisinde sürüdeki bütün arılar bu bölge etrafında toplanırlar. Daha fazla çiçeğe sahip bir bölge bulamadıklarından da sürekli yoğunluğu en fazla olan bölgeye çekilirler.

## **2.1 Parçacık Sürü Optimizasyonu'nda Kullanılan Terimler**

Bu bölümde Parçacık Sürü Optimizasyonu'nun tanımlanmasında kullanılan terimler tanıtılacaktır. Bu terimler diğer evrimsel hesaplama yöntemlerine göre bazı farklılıklar göstermektedir.

**Parçacık:** Sürüdeki her bir birey, bir parçacık olarak adlandırılır. Sürüdeki her bir parçacık, bireysel olarak aynı hükmedeci prensip altında hareket eder: bir yandan her an için kendi konum değerini kontrol ederken kendi kişisel en iyi bölgesine ve bütün sürünün bildiği en iyi bölgeye doğru ivmelenir.

**Konum:** Parçacık Sürü Optimizasyonu'nda konum, söz konusu problem için bir çözüm kümesi anlamına gelmektedir. PSO yalnızca parçacıkların hızlarına dayandığından teorik olarak sonsuz boyutlu bir problemin çözümüne ulaşmak mümkündür. Çözülme istenen problemin "n" boyutlu olduğu varsayılırsa, n-boyutlu bir uzay problemimizin çözüm uzayıdır ve bu uzaydaki herhangi bir koordinat (yani konum), incelenen problem için olası bir çözüm kümesidir. Örneğin üç boyutlu bir optimizasyon probleminde x-y-z koordinat sistemi bizim çözüm uzayımız, herhangi bir  $(x',y',z')$  konumu ise olası bir çözüm kümemizdir. Optimizasyonun amacı, problem için en uygun sonucu sağlayan  $(x',y',z')$  konumunu bulmaktır.

**Sürü:** Bütün parçacıkların oluşturduğu toplumdur.

**Hız:** Herhangi bir parçacığın, en iyi konuma ulaşmak için kullandığı, kendi bildiği ve sürünün bildiği en iyi konuma göre değişen yönelme vektörüdür.

Uygunluk: Her evrimsel hesaplama yönteminde olduğu gibi, PSO'da da herhangi bir konumun uygunluğunu değerlendirmek için kullanılan bir fonksiyon vardır. Uygunluk fonksiyonu, konumun performansını değerlendirebilmek amacıyla o konumdan tek bir sayıdan oluşan bir değer oluşturur. Kısaca, ulaşılmak istenen uygunluk fonksiyonu değerine göre konumun çözüme olan uygunluğu belirlenir.

Kişisel En İyi (pbest): Bir parçacığın kendi ulaştığı konumlar arasındaki en iyi uygunluk değerine sahip konumdur. Parçacık bir sonraki hızını belirlerken ve dolayısıyla bir sonraki konumuna ulaşırken, kendi kişisel en iyi konumundan faydalanır. Yolculuğu boyunca her bir parçacık o anki konumunu kendi kişisel en iyi konumuyla karşılaştırır ve eğer o anki konumu daha önceki kişisel en iyi konumundan daha iyi bir uygunluk değerine sahipse, o anki konumu yeni kişisel en iyi konumu haline gelir.

Küresel En İyi (gbest): Bütün sürünün ulaştığı en iyi konumdur. Sürüdeki bütün parçacıkların bu konumu bir şekilde bildikleri varsayılır ve her bir parçacık, bir sonraki konumuna doğru hareket ederken kendi en iyi konumunu ve bütün sürünün ulaştığı en uygun konuma göre hareket eder. Kısacası bilinen en iyi uygunluk değerine sahip konumdur. Yolculuğu boyunca her bir parçacık o anki konumunu sürünün en iyi konumuyla karşılaştırır ve eğer o anki konumu sürünün daha önceki en iyi konumundan daha iyi bir uygunluk değerine sahipse, o anki konumu sürünün küresel en iyi konumu haline gelir.

İterasyon: Sürüdeki herhangi bir parçacığın zaman adımlarını temsil eder. Eğer sürünün en iyi konumu arama süresini  $T$  saniye olarak belirlersek, her bir saniye bir iterasyona karşılık gelir.

Parçacık Sürü Optimizasyonu'nda bir parçacığın değişikliği yalnızca kendine ait hız vektörüne bağlıdır. Bu hız vektörü, parçacığın konumunu değiştirir ve yeni bir çözüm kümesi haline gelmesini sağlar. Parçacığın konumu,  $x$ , mevcut konumuna  $v$  hız vektörünün eklenmesiyle değiştirilir.

$$v_{n,i} = \omega v_{n,i-1} + c_1 \text{rand}_1 \text{ gbest}_i - x_{n,i} + c_2 \text{rand}_2 \text{ pbest}_{n,i} - x_{n,i} \quad (2.1)$$

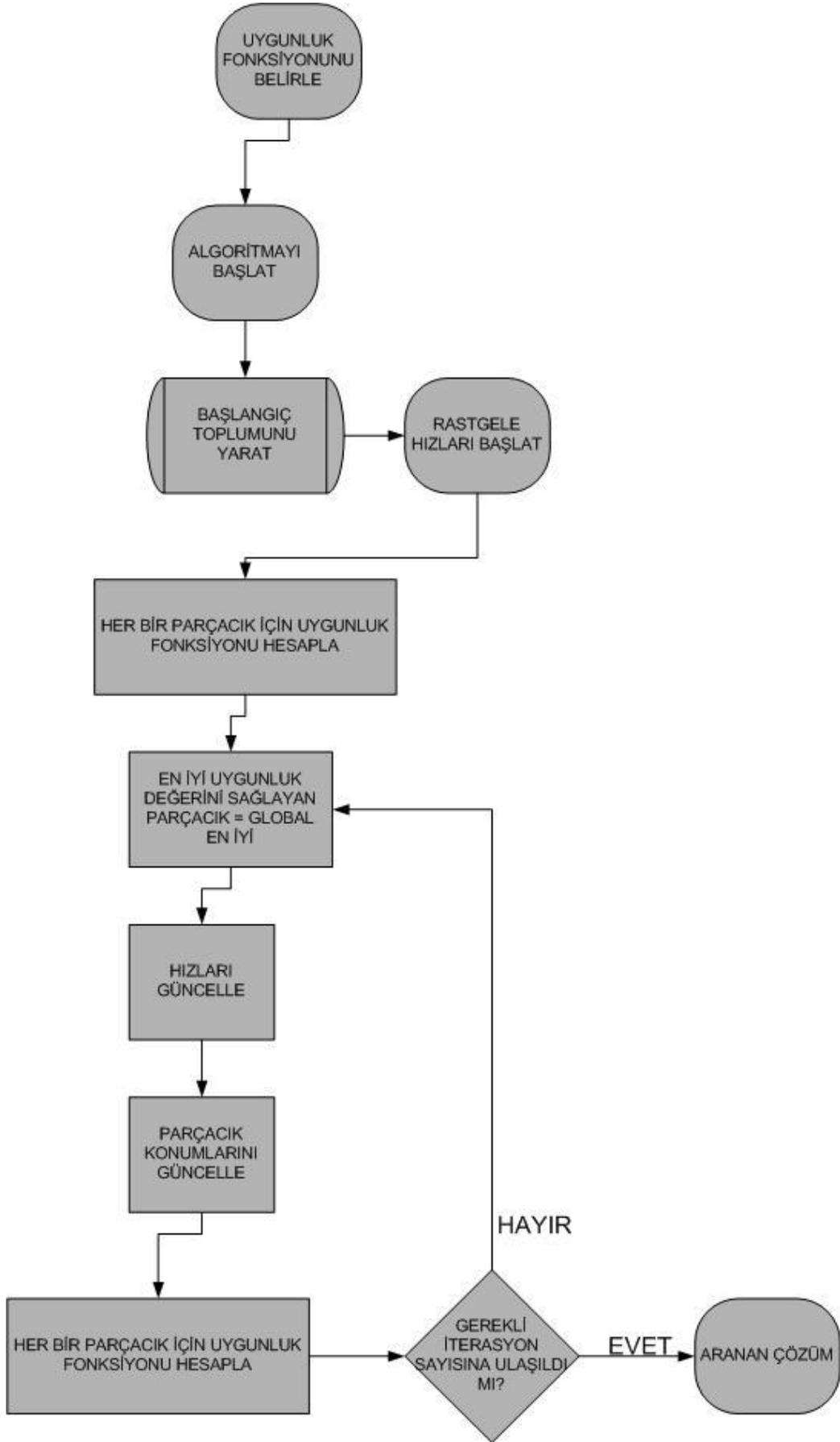
$$x_{n,i+1} = x_{n,i} + v_{n,i} \quad (2.2)$$

Yukarıdaki denklemler, PSO'nun en temel halinin denklemleridir. Burada  $c_1$  ve  $c_2$  sırasıyla bilişsel ve sosyal bileşenler olarak adlandırılır. Bilişsel bileşenin yüksekliği parçacığın kendi kişisel en iyisine doğru daha fazla yönelmesini, sosyal bileşenin yüksekliği parçacığın küresel en iyiye doğru daha fazla yönelmesi anlamına gelmektedir. Bilişsel bileşendeki bir artış, parçacığın kendi kişisel en iyisine doğru çekilmesine sebep olacağından çözüm uzayının daha iyi araştırılmasını sağlarken sosyal bileşenin artırılması ulaşılmak istenen küresel en yüksekine ortaya çıkışını hızlandırır [6].

Denklemdaki  $\omega$  bileşeni atalet bileşeni olarak adlandırılır ve 0 ila 1 arasında seçilmesi gereken bu bileşen, parçacığın bir önceki adıma ait olan hızına ne ölçüde sadık kalacağını belirler. Optimizasyon algoritmasının ilk halinde yer almayan bu parametre, daha sonra Eberhart ve Shi tarafından [17] denkleme eklenmiştir. Daha küçük bir atalet bileşeni o anki adımda öncekinden çok daha farklı bir hız vektörünün, daha büyük bir atalet bileşeni ise önceki hıza yakın bir hız vektörünün parçacığı etkileyeceği anlamına gelir. Denklemden yer alan  $rand_1$  ve  $rand_2$  değerleri [0,1] aralığında yer alan, isteğe bağlı olarak düzgün dağılımdan örneklenebilecek rastsal sayılardır. Bu rastsal değerler optimizasyon algoritmasına rastgelelik katmaktadır.

## 2.2 Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritması

Bu bölümde çözülmek istenen optimizasyonu probleminin çözümü için izlenmesi gereken adımlar açıklanmaktadır ve algoritmanın akış diyagramı sunulmaktadır. Optimizasyon sırasında kullanılacak olan uygunluk fonksiyonu ve hesaplanmak istenen değişken sayısı (boyut) belirlendikten sonra algoritma, aşağıdaki adımlar kullanılarak probleme uygulanabilir.



Şekil 2.1: Parçacık Sürü Optimizasyonu Akış Diyagramı

Adım 1.

Başlangıç toplumu yaratılır. Eğer çözülmek istenen probleme ait kısıtlar var ise, başlangıç toplumundaki parçacıklar çözüm uzayı içerisinde yer almalıdırlar. Dolayısıyla " $n$ " boyutlu bir optimizasyon probleminde " $n$ " tane boyut için en yüksek ve en düşük değerlerin sınırladığı bir başlangıç toplumu, rastgele değerler kullanılarak yaratılır. Yaratılan parçacıkların  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$  koordinatları  $t=0$  anındaki konumları anlamına gelmektedir.

Adım 2.

Her bir parçacık için uygunluk fonksiyonu hesaplanır. Her bir parçacığın başlangıç konumu, o parçacığın henüz karşılaştığı tek konum olduğundan parçacığın kişisel en iyi konumu haline gelir. İlk küresel en iyi, bu konumlar arasındaki en iyi uygunluk değerine sahip konumdur.

Adım 3.

Her bir parçacık için " $n$ " boyutlu bir hız vektörü, rastgele olarak yaratılır.

Adım 4.

Her bir parçacığın hız değerine göre konumu güncellenir.

Adım 5.

Her bir parçacık için yeni konumlarına göre uygunluk fonksiyonu hesaplanır. Eğer bir parçacığın hesaplanan yeni uygunluk değeri daha önceki kişisel en iyi uygunluk değerinden daha iyiyse, o anki konum kişisel en iyi konum olarak atanır. Benzer şekilde bütün sürü için hesaplanan uygunluk değerleri arasından bir değer daha önceki küresel en iyi değerden daha iyiyse, o anki en iyi uygunluk değerine karşılık gelen konum küresel en iyi konum olarak atanır.

Adım 6.

Her bir parçacık için yeni hız vektörleri, PSO hız vektörü denklemi kullanılarak hesaplanır. Bu hız vektörleri kullanılarak parçacıkların konumları güncellenir. Hız vektöründe yer alan rastgele öğeler algoritmaya rastsallık katmaktadır. "Adım 5", bu yeni konumlar kullanılarak tekrarlanır.

Adım 7.

Adım 5 ve Adım 6, durdurma koşulları sağlanana kadar tekrarlanır. Durdurma koşulu arzu edilen iterasyon sayısına ulaşma ya da belirli bir uygunluk fonksiyonu değerine ulaşma olabilir. Parçacık sürü optimizasyonunda genellikle belirli bir iterasyon sayısına ulaşma tercih edilir.

### **2.3 Parçacık Sürü Optimizasyonu Parametreleri**

Parçacık Sürü Optimizasyonu uygulanırken seçilen parametreler hem algoritmanın işleyişini hem de bazı durumlarda sonuca ulaşma süresini etkilerler. Bu bölümde hangi parametrenin algoritmayı nasıl etkilediği yer almaktadır [7].

#### **2.3.1 Sürünün Büyüklüğü**

Sürünün büyüklüğü, optimizasyon sırasında seçilen sürüyü oluşturan parçacık sayısıdır. Sürüde daha fazla kuşun yer alması, sürünün başlangıçta çözüm uzayı üzerinde daha fazla konumda uygunluğu araştırdığı anlamına gelmektedir. Benzer şekilde sürü büyüklüğü ne kadar fazla olursa, her bir iterasyonda o kadar fazla konum araştırılabilir. Ancak sürünün fazla büyük olması daha fazla uygunluk fonksiyonu çözümü gerektirdiğinden hesaplama süresinin artmasına sebep olmaktadır. Dağılıma bağlı çalışmalarda PSO'nda kullanılması önerilen sürü büyüklüğü, birçok problem için yaklaşık 30 olarak belirlenmiştir [30]. Kısıtlı bir optimizasyon probleminde başlangıç sürüsü, problemin sınır koşulları dahilinde oluşturulmalıdır.

#### **2.3.2 İterasyon Sayısı**

PSO'da iterasyon sayısı optimizasyon probleminin boyutuna ve sürünün büyüklüğüne göre değişmektedir. Çok sayıda iterasyon, hesaplama süresinin çok uzamasına sebep olacaktır.

#### **2.3.3 Bilişsel ve Sosyal Bileşenler**

Hız vektörlerinin belirlenmesinde etkili olan bilişsel ve sosyal bileşen parametreleri  $c_1$  ve  $c_2$ , genellikle optimizasyon boyunca sabit parametreler olarak kabul edilirler. Bilişsel bileşen, sosyal bileşene göre daha büyük seçildiğinde parçacık, yönelmesini kendi kişisel en iyi değerine doğru belirler. Aynı şekilde sosyal bileşen bilişsel

bileşene göre daha büyük seçildiğinde ise parçacıklar küresel en iyi değere doğru daha erken hareketlenmeye başlarlar. Bu iki bileşen dengelendiğinde, PSO en verimli ve tasarlandığı haliyle çalışır. Eberhart ve Kennedy'nin önerilerine göre bilişsel bileşenin değeri 1.5 ila 2 arasında değişirken, sosyal bileşenin değeri 2 ila 2.5 arasında olmalıdır. Orijinal çalışmada her iki değer için de kullanılan değer 2'dir. Bununla beraber konu üzerindeki çeşitli çalışmalarda bu iki bileşen için farklı değerler önerilmektedir [16]. Elektromanyetik optimizasyon çalışmalarında bu bileşenler için önerilen değer 1.49'dur [6].

#### **2.3.4 Atalet Bileşeni**

Atalet bileşeni bir parçacığın bir önceki adımdaki hızının, bir sonraki adımda hızını ne oranda etkileyeceğini belirleyen parametredir. Orijinal algoritmada yer almayan bu parametre, Eberhart ve Shi tarafından daha sonra denkleme eklenmiştir. Atalet bileşeni genel olarak 0.9'dan başlayarak 0.4'e doğru iterasyon süresince doğrusal olarak azaltılır. Atalet bileşeninin uygun seçimi, küresel ve yerel keşif ve açığa çıkarma arasında bir denge kurarak istenen sonuca ulaşmada kullanılacak iterasyon sayısının azaltılmasını sağlar [3].

#### **2.3.5 En Yüksek Hız**

PSO'da parçacıkların hızı, bir en yüksek hız ( $V_{max}$ ) değeriyle kısıtlanır. Bu değer bir parçacığın çözüm uzayındaki keşif ve açığa çıkarma yeteneğini kontrol eder [3]. En yüksek hız parametresinin ortaya çıkmasının en önemli sebeplerinden biri, PSO'da parçacıkların çözüm uzayı içerisinde kalmasını sağlayan herhangi bir parametrenin olmayışıdır. Eğer herhangi bir parçacığın hız değeri  $V_{max}$ 'ın üzerine çıkarsa, o parçacığın hızı  $V_{max}$  olarak belirlenir. Ancak bu parametre de bütün parçacıkların çözüm uzayı içerisinde kalmasını sağlamaz [9].

### 2.3.6 Kısıtlama Faktörü

En yüksek hız kısıtlamasının yani  $V_{max}$ 'in kullanımının parçacığı her zaman çözüm uzayı içerisinde tutamaması, araştırmacıları bu konuda yeni arayışlara itmiştir. Bu arayışların sonuçlarından birisi de kısıtlama faktörüdür [9]. Kısıtlama faktörü  $\kappa$ , parçacıkların hızını kısıtlayarak ve kontrol ederek hem parçacıkların çözüm uzayı içerisinde kalmasını hem de algoritmanın performansını artırmayı hedeflemektedir. Kısıtlama faktörünün kullanımı, PSO hız vektörünün şu alternatif gösterimini geliştirmiştir:

$$v_n = \kappa \left[ v_n + \varphi_1 rand_1 \times p_{best,n} - x_n + \varphi_2 rand_2 \times g_{best,n} - x_n \right] \quad (2.3)$$

Kısıtlama faktörü olan  $\kappa$ , şu iki denklemden belirlenmektedir:

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2; \quad \varphi > 4 \quad (2.4)$$

$$\kappa = \frac{2}{\left| 2 - \varphi - \sqrt{\varphi^2 - 4\varphi} \right|} \quad (2.5)$$

$\varphi = 4.01$  değerinin iyi bir seçim olduğu düşünülmektedir [18]; bu seçim de  $\kappa$  değerinin 0.729 olmasını sağlamaktadır.  $\varphi_1$  ve  $\varphi_2$ 'nin standart değerleri 2.05 olarak seçilebilir. Daha sonraki çalışmalarda Carlisle ve Dozier, bu değerlerin sırasıyla 2.8 ve 1.3 olarak seçilmelerinin en iyi sonucu verdiğini belirtmişlerdir.

### 2.4 Parçacıkların Çözüm Uzayında Tutulması

Bir çok optimizasyon problemi, elde edilecek sonuçların belirli sınırlar içerisinde kalmasını gerektirir. PSO'da ne en yüksek hız, ne de atalet bileşeni parçacıkların çözüm uzayında kalmasını sağlamaz. Parçacıkların çözüm uzayı dâhilinde kalmasını sağlamak amacıyla bazı sınır koşulları geliştirilmiştir [6]:

- Emici Duvarlar

Bir parçacık boyutlardan birinde çözüm uzayının sınırlarına çarptığında, o boyuttaki hız sıfırlanır ve parçacık bu şekilde çözüm uzayına geri çekilir. Başka bir deyişle, çözüm uzayının sınır duvarları, çözüm uzayından kaçmaya çalışan parçacıkların enerjilerini emmektedirler.

- Yansıtıcı Duvarlar

Bir parçacık boyutlardan birinde duvara çarptığında, parçacığın hızının o boyuttaki işareti ters çevrilir ve bu sayede parçacık çözüm uzayına döndürülür.

- Görünmez Duvarlar

Parçacıkların herhangi bir engelleme olmaksızın çözüm uzayı dışarısına çıkmasına izin verilir ancak bu parçacıklar için uygunluk değeri hesaplanmaz. Bu sayede hesaplama zamanını da azaltmak mümkündür.

### **3. PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU ALGORİTMASI İLE GENETİK ALGORİTMANIN KARŞILAŞTIRILMASI**

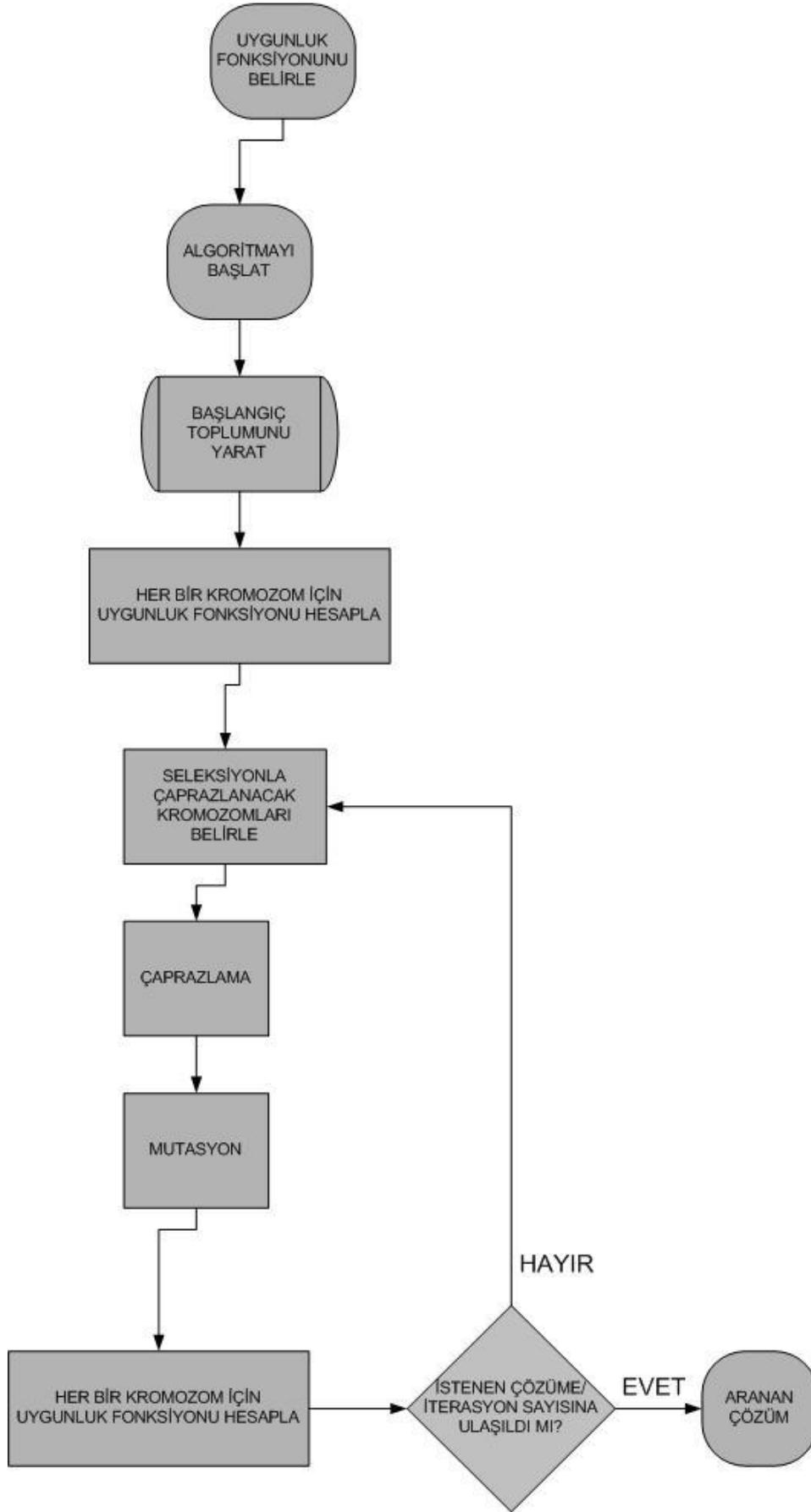
Toplum temelli bir arama algoritması olması, parçacık sürü optimizasyonunun sürekli olarak genetik algoritma ile karşılaştırılmasına sebep olmaktadır. Bununla birlikte PSO ile genetik algoritma arasındaki tek önemli benzerlik, her iki optimizasyon algoritmasının da aramaya rastgele belirlenmiş toplumlarla başlamasıdır. Keza evrimsel algoritmaların büyük çoğunluğu aşağıdaki prosedürü gerçekleştirmektedir [19]:

1. Bir başlangıç toplumunun rastgele yaratılması
2. Her bir eleman için bir uygunluk değerinin belirlenmesi
3. Uygunluk değerlerine göre toplumun yeniden yapılandırılması
4. Gereksinimler karşılanana kadar iterasyonun devam etmesi

Bu bölümde genetik algoritmanın temel özellikleri ile parçacık sürü optimizasyonu ile arasındaki farklılıklar yer almaktadır.

#### **3.1 Genetik Algoritma**

Genetik algoritma (GA), 1975 yılında John Holland tarafından ortaya koyulmuş ve bir çok alanda uygulanabileceği Goldberg tarafından gösterilmiş, rastsal arama tekniklerini kullanarak çözüme ulaşan bir optimizasyon algoritmasıdır [20,21]. Genetik algoritma, problemlerin çözümüne ulaşabilmek için genetik bilimi prensiplerinden ve evrim teorisinden yararlanır. Başlangıçta yaratılan çözüm uzayının elemanları kromozomlar olarak tanımlanır, bu kromozomlar algoritma ilerledikçe çeşitli evrimsel süreçlerden geçer (mutasyon, doğal seçim vb.) ve sonucunda problemin çözümüne en uygun elemana ulaşılır. Basit bir genetik algoritmanın akış diyagramı Şekil 3.1'de verilmiştir:



Şekil 3.1: Genetik Algoritma Akış Diyagramı

İlk olarak, tıpkı PSO'da olduğu gibi rastgele kromozomlardan oluşmuş bir başlangıç toplumu yaratılır. Bu değişkenler basit genetik algorithmada 0 ve 1 bitleri halinde, ikili sistemde tanımlanmıştır. Ardından her bir kromozom için uygunluk fonksiyonu değeri hesaplanır. Kromozomlar arasındaki değerlendirme bu uygunluk fonksiyonuna göre yapılmaktadır. Ardından kromozomlar arasında doğal seçim uygulanır ve doğal seçimde seçilen kromozomlar aralarında çaprazlanır. Daha sonra bu yeni kromozomlar istenilen oranda mutasyona uğrattılır. Bu işlemler sonrasında en uygun (en iyi uygunluk değerini sağlayan) kromozom belirlenir. Parçacık sürü optimizasyonunda olduğu gibi GA belirlenmiş bir iterasyon sayısı kadar sürebilir ve her bir iterasyon bir nesil olarak adlandırılır.

Genetik algoritmanın orijinal halinde kromozomlar ikili sistemde yani birler ve sıfırlar kullanılarak gösterilmektedir. Ayrıca her bir kromozom genler adı verilen alt gruplara bölünmüşlerdir. Sürekli veya gerçek değerli genetik algorithmada ise ikili gösterim yerine gerçek sayılar kullanılmaktadır. Bu sayede hem sayıları ayrıştırmanın gerektirdiği zaman kaybının önüne geçilmiş olur, hem de daha az bilgisayar hafızasına ihtiyaç duyulur [22]. Aşağıda bahsedilen seçim, çaprazlama ve mutasyon yöntemleri genel olarak ikili genetik algoritma için geçerli olup, sürekli genetik algorithmada kullanılabilen operatörlerde bazı değişikliklere ihtiyaç duyulmaktadır.

### **3.1.1 Seçim**

Genetik algorithmada doğal seçim kullanımının amacı bellidir: üremede kullanılacak ve bir sonraki nesile aktarılacak kromozomların seçilmesi. Seçim, uygunluk fonksiyonu değerlerine göre yapılır. Bu değerlere göre daha uygun kromozomlar bir sonraki nesle aktarılırken, daha zayıf kromozomlar elenir ve böylece toplum daha seçkin kromozomlardan oluşur hale gelir. Seçimin elde edilen sonuçlar üzerinde önemli bir etkisi vardır. Eğer seçimde yalnızca en iyi kromozom seçilirse, toplum en iyi uygunluk değerine sahip bireye çok daha çabuk yakınsayacaktır. En sık kullanılan seçim çeşitleri rulet tekerleği, elitist, sıralama, turnuva ve evrensel rastgele seçim seleskiyonlarıdır.

Rulet tekerleği seçiminde kromozomların kendi uygunluk değerlerinin toplam uygunluk değerine oranı kadar bir seçim olasılıkları vardır. Oran, rastgele belirlenmiş bir değerle karşılaştırılır ve oranı bu değere belirli bir yakınlık seviyesinde olan bireyler seçilirler. Elitist seçimde ise en iyi kromozomların bir kısmı doğrudan üreme havuzuna gönderilir ve geri kalan kromozomlar arasında seçim yapılır. Sıralama yönteminde, kromozomların uygunluk değerleri hesaplanır ve bu değerler büyükten küçüğe doğru sıralanır. En büyük veya en küçük değere sahip kromozomlar tercih edilir.

Turnuva seçiminde, toplumdan belirli sayıda rastgele kromozom seçilir ve bu kromozomlar uygunluk değerlerine göre kendi aralarında sıralanırlar. Bu kromozomlardan en iyi uygunluk değerine sahip olan seçilir ve diğerleri tekrar seçilmek üzere topluma geri dönerler. İstenen sayıda kromozom seçilene kadar bu işlem sürdürülür. Evrensel rastgele seçimde ise toplumu oluşturan bütün kromozomların seçim ihtimali eşittir ve istenen sayıda kromozom tamamen rastgele olarak seçilir.

### **3.1.2 Çaprazlama**

Çaprazlamada ebeveyn olarak adlandırılan iki birey birleşerek çocuk adı verilen iki yeni birey oluştururlar. Kromozomlardan biri alt kısmını diğerleriyle değiştirir. Çaprazlama sayesinde çözüm uzayının sonuca yakın bölümlerine uzanmak mümkündür. Çaprazlamanın ana amacı, önceki neslin iyi karakteristiklerinin sonraki nesle aktarılmasıdır. Dolayısıyla iyi ebeveynlerin birleşmesi daha iyi sonuçlar ortaya çıkarır. Tek noktalı çaprazlama, iki noktalı çaprazlama, tek tip çaprazlama ve aritmetik çaprazlama önerilen yöntemlerdir.

Tek noktalı çaprazlamada ebeveyn kromozomlar seçilen bir noktadan kesilirler ve o noktadan sonraki parçalar ebeveynler arasında değiştirilir. Örneğin 8 bitlik kromozomlardan oluşan bir toplumdan seçilen 2 birey arasındaki çaprazlamada, ilk bireyin ilk 4 biti korunur ve ikinci bireyin son 4 biti ilk bireyin ilk dört bitinin ardına eklenerek yeni bir kromozom elde edilir. İki noktalı çaprazlamada ise kromozomlarda iki kesme noktası seçilir. İlk kesme noktasına kadar olan bitler ilk ebeveynden, ilk ve ikinci kesme noktaları arasındaki bitler ikinci ebeveynden, ikinci kesme noktasından sonraki bitler yine ilk ebeveynden alınırırlar. Tek tip çaprazlama yönteminde bitler ebeveynlerden rastgele olarak seçilirler. Örneğin ilk 2 bit birinci

ebeveynden, sonraki iki bit ikinciden, sonra bir bit ilk ebeveynden ve geri kalan bitler ikinci ebeveynden seçilebilir. Aritmetik çaprazlama yönteminde ise ebeveynler üzerinde toplama, çıkarma gibi aritmetik işlemler uygulanarak yeni bireyler ortaya çıkartılır.

### **3.1.3 Mutasyon**

Mutasyon, kromozomdaki bazı bitlerin değişimine sebep olur. Aramanın rastgeleleştirilmesini sağlar ve bu sayede çaprazlama sayesinde ulaşılamayan bazı çözümlere ulaşılma şansı olur. Arama uzayındaki hareketi sağlar ve toplumun kaybettiği bazı bilgileri yeniden kazanmasını sağlar.

Mutasyonun etkisi, başlarda uygulandığında azken, sonlarda uygulanırsa daha fazladır. Çaprazlamada ise tam tersi bir durum sözkonusudur. Kromozomdaki bazı bitlerin değiştirilmesi ile elde edilen ters çevirme ve bazı bitlerin yerlerinin değiştirilmesinin sonucu olan sıra değiştirme sık kullanılan mutasyon çeşitleridir.

### **3.2 Parçacık Sürü Optimizasyonu ile Genetik Algoritma Arasındaki Farklar**

İşleyiş açısından bakıldığında parçacık sürü optimizasyonu ile genetik algoritma arasında bir çok ortak nokta vardır. Her iki yöntem de rastgele yaratılmış toplumlarla aramaya başlarlar ve her iki yöntem toplumu değerlendirebilmek için bir uygunluk fonksiyonu kullanırlar. Her iki yöntem de rastgele teknikler kullanarak toplumları güncellerler ve en uygun sonucu ararlar.

Parçacık sürü optimizasyonu, algoritma boyunca en uygun cevabı ararken parçacıkların hareketi Newton'un fizik prensiplerine dayanmaktadır [10]. Buna karşın genetik algoritmanın prensipleri Charles Darwin'in evrim teorisi prensipleriyle örtüşmektedir ve uygun çözümü nesiller boyunca ortaya çıkan en uygun kromozomda bulmaktadır.

PSO'nun en önemli avantajı, yalnızca bir değişim faktörüne sahip olmasıdır. Parçacıkların güncellenmesini yalnızca hız vektörü sağladığından PSO algoritmasını çeşitli şekillere uyarlamak mümkündür ve diğer algoritmalara göre nispeten daha kolaydır. Buna karşın genetik algoritmada kromozomların güncellenmesi en az üç operatörle gerçekleştirilebilmektedir: mutasyon, çaprazlama ve doğal seçim. Operatör sayısındaki bu artış algoritmanın çözüme ulaşabilmesi için gerekli

hesaplama zamanını artırmaktadır. Aynı zamanda en uygun sonuca ulaşabilmek için en iyi şekilde belirlenmesi gereken bu yöntemlerin ve yöntemlere göre parametrelerin belirlenmesi kullanıcı tarafında zaman kaybına sebep olmaktadır. Bunun yanı sıra genetik algortmada uygun sonuç veren kromozomların işlemcinin hafızasında tutulması gerekliliği hafıza kullanımını artırmaktadır. Ek olarak, genetik algortmada kromozomlar bitler halinde tanımlandığından doğal olarak ayrıktır ve ayrıık değişkenlerle çalışmaya daha uygundur, buna karşın PSO'nun doğası süreklidir ve ayrıık değişkenlerle çalışabilecek şekilde uyarlanması gerekmektedir [16].

Bu farkların yanı sıra parçacık sürü optimizasyonunda bir de parçacıkların kendi hafızaları vardır. Diğer evrimsel algortmalarla karşılaştırıldığında bu önemli bir farklılıktır. Örneğin genetik algortmada elemanlar kromozomları aracılığıyla bilgi paylaştıklarından, grup halinde en uygun çözüme doğru yol alırlar. Buna karşın PSO'da bilgi paylaşımı tek yönlüdür. Yalnızca en uygun sonuca sahip parçacık, diğer parçacıklara bilgi verir. Parçacıkların, en iyi sonucu veren parçacık dışındaki parçacıklarla ilgili herhangi bir bilgisi yoktur. Dolayısıyla evrim, yalnızca en iyi çözümlü aramaktadır.

### **3.3 Parçacık Sürü Optimizasyonu ile Genetik Algortmanın Sayısal Karşılaştırılması**

Bu bölümde Parçacık Sürü Optimizasyonu'nun Genetik Algortma'ya göre avantajı, literatürde yer alan bazı test fonksiyonları kullanılarak gösterilmeye çalışılmaktadır. Buradaki amaç, hangi fonksiyonun daha çabuk en uygun çözüme yakınsadığını ve hangi algortmanın daha iyi çözümler sunduğunu matematiksel olarak ortaya koyabilmektir.

Burada kullanılan parçacık sürü optimizasyonu, atalet momenti eklenmiş temel haldeki sürekli parçacık sürü optimizasyonudur. Karşılaştırma amaçlı kullanılan genetik algortma ise sürekli genetik algortmadır.

### 3.3.1 Karşılaştırmada Kullanılan Algoritma Parametreleri

Karşılaştırma için kullanılan test fonksiyonları Rosenbrock fonksiyonu ve Rastrigin fonksiyonu olarak seçilmiştir. Bu fonksiyonlar EK 1'de gösterilmiştir. Karşılaştırmalar yapılırken her iki algoritma için de toplum sayısı 40, iterasyon sayısı ise 100 olarak belirlenmiştir. Parçacık Sürü Optimizasyonu parametreleri olan  $c_1$  ve  $c_2$ , [16]'da önerildiği gibi sırasıyla 1.5 ve 1.5 olarak alınmıştır. Atalet momenti ise 0.9'dan başlayarak iterasyon süresince doğrusal olarak azaltılmış ve son adımda 0.4'e getirilmiştir.

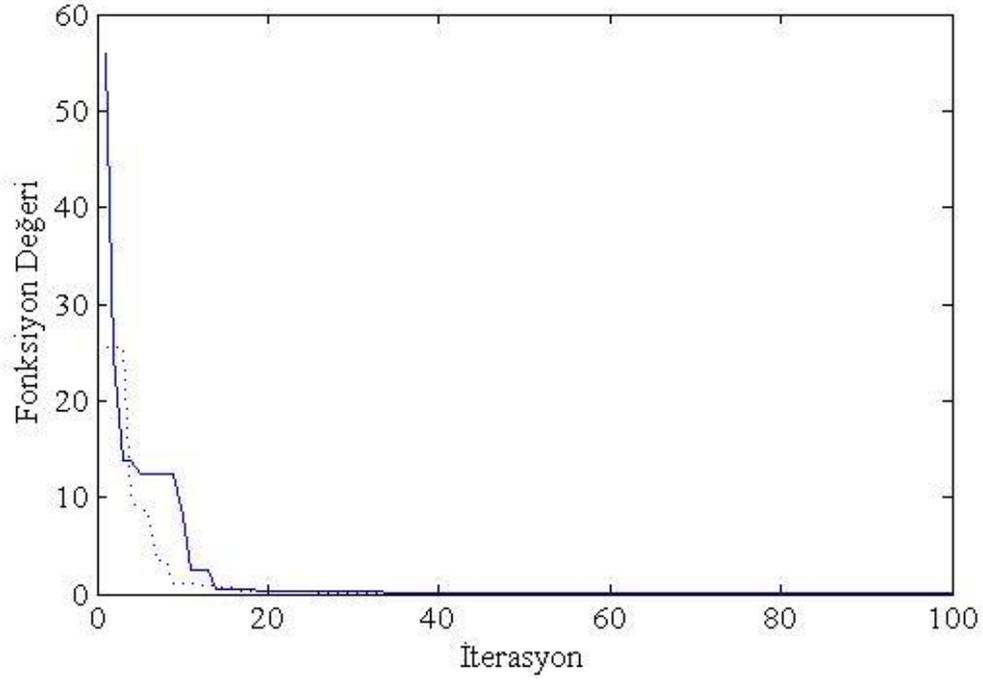
Genetik Algoritma ile fonksiyonun çözümüne ulaşmaya çalışırken ise seçim yöntemi olarak rulet tekeri seçimi, çaprazlama yöntemi olarak ise tek noktali çaprazlama kullanılmıştır. Mutasyon oranı yüzde 15 olarak belirlenmiştir.

### 3.3.2 Test Fonksiyonlarına Göre Algoritmaların Yakınsama Sonuçları

İki algoritma ilk olarak Rosenbrock fonksiyonuna göre karşılaştırılmıştır. Bu fonksiyonun 3 değişkenli halinde evrensel minimum  $(x_1, x_2, x_3) = (1, 1, 1)$  noktasında olup fonksiyonun değeri  $f(x_1, x_2, x_3)$ , 0'a eşittir. Aşağıdaki tabloda, her iki algoritmanın 100 kere koşturulması sonucu elde edilen değerlerin ortalamaları yer almaktadır. Şekil 3.2'de ise bu değerler arasında gerçek değere en yakın sonucu veren algoritma uygulamalarının iterasyon sayısına göre yakınsama durumları görülmektedir. Bu uygulamada, parçacık sürü optimizasyonunun genetik algoritmaya olan üstünlüğü çok belirgin olsa da, genetik algoritma parametrelerinin ve kullanılan yöntemlerin daha iyi bir biçimde belirlenmesi sayesinde bu algoritma kullanılarak da daha iyi sonuçlar elde edilebileceği düşünülmektedir. Bununla birlikte, genetik algoritma çözüme çok az da olsa daha çabuk yakınsamaktadır.

**Çizelge 3.1:** Rosenbrock Fonksiyonu Çözümleri

	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$f(x_1, x_2, x_3)$	Hesaplama süresi (san.)
Global değerler	1	1	1	0	-
PSO	0,9885	0,9792	0,9667	0,0105	0.48
GA	0,87	0,7741	0,6479	0,1664	0.83

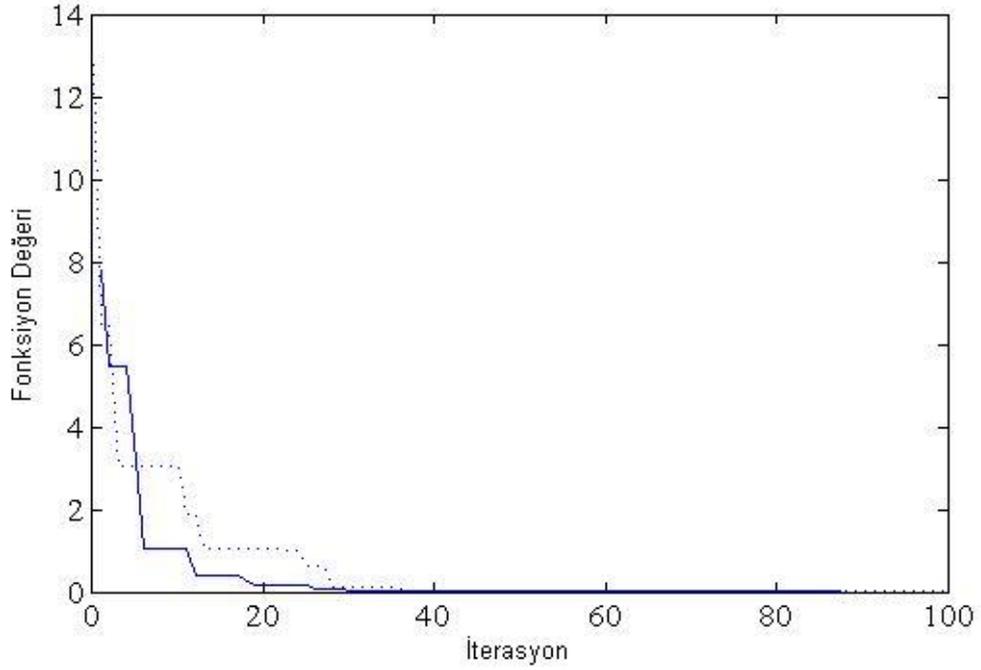


**Şekil 3.2:** Algoritmaların Rosenbrock Fonksiyonu için Yakınsama Durumları (PSO: Düz çizgi, GA: Noktalı Çizgi)

Karşılaştırma amaçlı olarak kullanılan diğer fonksiyon ise Rastrigin fonksiyonudur. Bu fonksiyonun 3 değişkenli halinde global minimum  $(x_1, x_2, x_3) = (0, 0, 0)$  noktasında olup fonksiyonun değeri  $f(x_1, x_2, x_3)$ , 0'a eşittir. Her iki algoritma, bu fonksiyonun da çözülmesi amacıyla 100'er kez koşturulmuştur ve bu sonuçların ortalama değerleri ve hesaplama süreleri Çizelge 3.2'de gösterilmiştir. Şekil 3.3'de ise en iyi çözümlerin yakınsama durumları görülmektedir.

**Çizelge 3.2:** Rastrigin Fonksiyonu Çözümleri

	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$f(x_1, x_2, x_3)$	Hesaplama süresi (san.)
Global değerler	0	0	0	0	-
PSO	-0,0198	-0,0199	0,0596	0,13	0.44
GA	0,0408	0,0407	0,0194	0,151	0.66



**Şekil 3.3:** Algoritmaların Rastrigin Fonksiyonu İçin Yakınsama Durumları (PSO: düz çizgi, GA: noktalı çizgi)

Parçacık sürü optimizasyonu ile yapılan hesaplamalarda fonksiyonun ortalama değerinin 0'dan farklı olmasının sebebi, hesaplamaların yüzde 13'ünde algoritmanın yerel minimuma yakalanmasıdır. Çizelgeden ve yakınsama durumundan da görülebileceği üzere parçacık sürü optimizasyonu hem ortalama değerlerde, hem hesaplama süresinde hem de yakınsama durumunda genetik algoritmaya üstünlük sağlamaktadır.

Test fonksiyonlarının algoritmalar aracılığıyla çözümleri MATLAB® 2008 yazılımı kullanılarak yapılmış olup, kullanılan bilgisayarın işlemci hızı 2 GHz, belleği ise 2 gigabayttır.



## 4. MİKRODALGA ANTEN TASARIMI UYGULAMALARI

Bu bölümde mikrodalga frekanslarda çalışan bazı antenlerin, frekans, kazanç, demet genişliği gibi bazı parametrik kısıtlara göre fiziksel özelliklerinin parçacık sürü optimizasyonu yöntemi kullanılarak belirlenmesi yer almaktadır. Bu amaçla seçilen antenler mikroşerit antenler ve horn antenlerdir.

### 4.1 Mikroşerit antenler

En temel haliyle bir mikroşerit anten, tek tarafında bir iletken tabaka ve diğer tarafında topraklama yüzeyi bulunan bir yalıtkan katmandan oluşur [23]. Mikroşerit antenler kare, dikdörtgen, daire, halka ve daha bir çok şekillerde üretilebilirler. Son yıllarda kişisel ve hareketli haberleşme cihazlarına olan ilginin artması, küçük ve daha az yer kaplayan, daha düşük maliyetle üretilebilen antenlerin ön plana çıkmasına sebep olmuştur. Mikroşerit antenler de bu gereksinimleri karşılayan anten tiplerinin öncüsüdür. Mikroşerit antenler, geleneksel mikrodalga antenlerle kıyaslandığında bir çok avantaj sağlamaktadır. Bunlardan bazıları şöyle sıralanabilir [24]:

- Mikroşerit antenler küçük boyutludurlar.
- Baskı devre teknolojisi kullanılarak seri üretimlerinin yapılabilmesi düşük maliyet sağlar.
- Diğer mikrodalga devrelerle aynı katman üzerinde üretilebilirler.
- Hem dairesel hem de doğrusal polarizasyona izin verirler.
- Kişisel mobil haberleşmede kullanılabilmeleri boyutları dolayısıyla mümkündür.

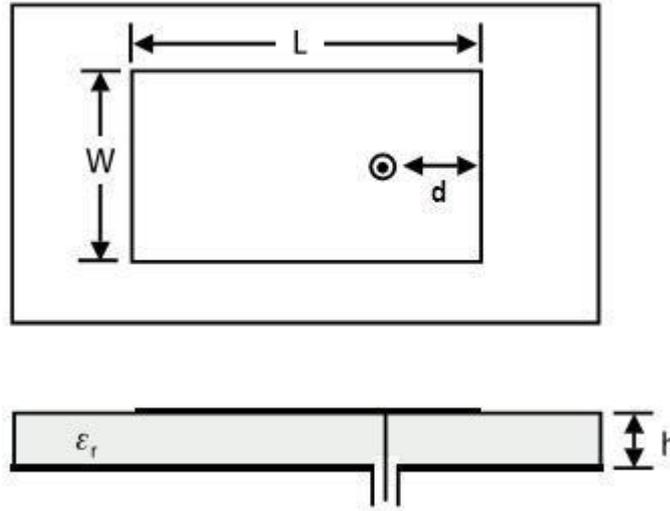
Mikroşerit antenlerin avantajlarının yanı sıra bazı önemli dezavantajları da bulunmaktadır:

- Dar bant genişliği
- Düşük kazanç

- Güç aktarabilme kapasitesinin düşüklüğü.

Mikroşerit antenlerin yaygınlaşmasının önündeki en önemli engel olan dar bant genişliğinin aşılabilmesi, bu konudaki en önemli çalışma alanlarından birisidir. Son yıllardaki çalışmalar, mikroşerit antenlerle yüzde 70'lere varan bant genişliklerine ulaşılmasını sağlamıştır [25,26]. Bu gelişmeyi sağlayan en önemli değişiklik, kalın ve düşük elektrik geçirgenliğe sahip yalıtkan katmanların kullanılmasıdır [24].

#### 4.1.1 Dikdörtgen Mikroşerit Anten



Şekil 4.1: Dikdörtgen Mikroşerit Anten

Şekil 4.1'de bir mikroşerit anten görülmektedir. Bu antenin elektromagnetik karakteristikleri büyük oranda rezonantın uzunluğuna ( $L$ ), genişliğine ( $W$ ), besleme probunun konumuna ( $d$ ), yalıtkan katmanın kalınlığına ( $h$ ) ve yalıtkan katmanın elektrik geçirgenliğine ( $\epsilon_r$ ) bağlıdır. Bu fiziksel parametrelerin optimize edilmesiyle, istenen elektromagnetik karakteristiklere sahip bir dikdörtgen mikroşerit anten tasarlamak mümkündür. Buradaki uygulamada bu parametrelerin düzenlenmesiyle istenen frekansta ışınım yapabilen, istenen giriş empedansına sahip ve arzu edilen bant genişliğinde bir anten, uzunluk, genişlik ve besleme probu konumu değerleri hesaplanarak elde edilmeye çalışılmaktadır. Bu amaçla kullanılan uygunluk fonksiyonu şu şekildedir [27]:

$$uygunluk = \delta_1 |f_r^i - f_r^h| + \delta_2 |BG^i - BG^h| + \delta_3 |R_g^i - R_g^h| \quad (4.1)$$

Uygunluk denkleminde  $\delta_1$ ,  $\delta_2$  ve  $\delta_3$  ağırlık katsayılarıdır. Denklemdaki hangi parametrenin uygunluk fonksiyonunu daha fazla etkileyeceğini belirleyen bu faktörler çalışma için sırasıyla 4,1,1 olarak seçilmişlerdir.  $f_r^i$  erişilmek istenen  $TM_{10}$  modu rezonans frekansı,  $f_r^h$  aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanan rezonans frekansdır. Benzer şekilde  $BG^i$  ve  $BG^h$  sırasıyla istenen ve hesaplanan bant genişlikleri;  $R_g^i$  ve  $R_g^h$  ise sırasıyla istenen ve hesaplanan giriş empedanslarıdır. Bir dikdörtgen mikroşerit antenin  $TM_{10}$  modu rezonans frekansı şu şekilde hesaplanır [28]:

$$f_r = \alpha \frac{c}{2 L + 2\Delta W \sqrt{\epsilon_{ew}}} \quad (4.2)$$

Bu denklemde  $\alpha$  düzeltme katsayısı,  $c$  elektromagnetik dalgaların boşluktaki hızı,  $L$  iletken tabakanın uzunluğu,  $\Delta W$  iletken tabakanın bir fonksiyonu,  $\epsilon_{ew}$  ise dielektrik katmanın etkin elektrik geçirgenliğidir.  $\epsilon_{ew}$ ,  $\Delta W$  ve  $\alpha$  şu formüllerle hesaplanabilir [28-31]:

$$\epsilon_{ew} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left( 1 + \frac{10h}{W} \right)^{-1/2} \quad (4.3)$$

$$\Delta W = 0.412h \frac{W/h + 0.264}{W/h + 0.264} \frac{\epsilon_{ew} + 0.300}{\epsilon_{ew} - 0.258} \quad (4.4)$$

$$\alpha = \frac{\pi h}{L_{ef}} \sqrt{\epsilon_r} \quad (4.5)$$

Burada  $L_{ef}$  iletken tabakanın etkin uzunluğudur ve şu formülle hesaplanır [32]:

$$L_{ef} = L + \left( \frac{W_{eq} - W}{2} \right) \left( \frac{\epsilon_{ew} + 0.300}{\epsilon_{ew} - 0.258} \right) \quad (4.6)$$

$W_{eq}$  ise denk tabaka genişliğidir ve şu formülle hesaplanır [32]:

$$W_{eq} = \frac{R_0 h}{Z_{cw} \sqrt{\epsilon_{ew}}} \quad (4.7)$$

Bu denklemde  $R_0$  boşluk ortamının empedansdır.  $Z_{cw}$  ise  $\epsilon_r$  bağlı dielektrik sabitli hattın karakteristik empedansı olup şu şekilde bulunur [33]:

$$Z_{cw} = \frac{R_0}{\pi \sqrt{2} \sqrt{1 + \epsilon_r}} \left[ \ln \left( \frac{4h}{W} + \sqrt{\frac{16h^2}{W^2} + 2} \right) - \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left( 0.258 + \frac{0.1208}{\epsilon_r} \right) \right] \quad (4.8)$$

Bir mikroşerit antenin bant genişliği ise gerilim duran dalga oranının (GDDO) tolere edilebilen değeriyle tanımlanır. Arzu edilen gerilim duran dalga oranı  $GDDO < S$  olarak gösterilirse, antenin bant genişliği [34]:

$$BG \% = P \frac{\eta}{Q_r} \frac{S-1}{\sqrt{S}} \quad (4.9)$$

olarak bulunur. Burada  $Q_r$  ışımının toplam iyilik faktörü,  $\eta$  ışıma verimliliği ve  $P$  ise düzeltme katsayısıdır. Bu parametreler şu formüllerle hesaplanabilir [35,36]:

$$P = \frac{Z_{ow}}{Z_{cw}} \quad (4.10)$$

$$Q_r = \frac{c \sqrt{\epsilon_{ew}}}{4h f_r} \quad (4.11)$$

$$\eta = \frac{P_r}{P_s + P_r} \times 100\% \quad (4.12)$$

Yukarıdaki formüllerde yer alan  $Z_{ow}$ , hava yalıtkanlı bir mikroşerit hattın karakteristik empedansı olup (4.8) formülünde  $\epsilon_r$  yerine "1" yazılarak elde edilir. Işıma verimliliğinin hesaplanmasında kullanılan  $P_r$  ve  $P_s$  terimleri ise sırasıyla uzay ve yüzey dalgalarıyla yayılan güç değerleridir ve şu formüllerle hesaplanır:

$$P_r = \frac{R_0 k_0^4 h^2}{3\pi} \left( 1 - \frac{1}{\epsilon_r} + \frac{2}{5\epsilon_r^2} \right) \quad (4.13)$$

$$P_s = R_0 k_0^2 \frac{k_0 h^3 \epsilon_r - 1^3}{4\epsilon_r^3} \quad (4.14)$$

Bu formüllerdeki  $k_0$  değeri boşluktaki dalga sayısı olup şu formülle hesaplanmaktadır:

$$k_0 = \frac{2\pi f_r}{c} \quad (4.15)$$

Bir dikdörtgen mikroşerit antenin giriş empedansı, ışınma frekansında reel bir değerdir. Antene iletilen enerjinin verimi, antenin giriş empedansı ile doğrudan alakalıdır. İletken yüzey ile antenin beslemesi arasında iyi bir eşleştirme sağlanabilmesi için giriş empedansı doğru bir biçimde belirlenmelidir. Giriş empedansının formülasyonu şu şekildedir [37]:

$$R_g = \frac{R_0 L_{ef}}{\lambda_0 \left( \epsilon_{eL} - \frac{\epsilon_{edL}}{\pi} \right)} \left\{ 1 - \frac{\sin[2k_0 d + \Delta L]}{2k_0 d + \Delta L} \right\} \left[ 1 - \cos[2k_0 d + \Delta L] \right]^{-1} \quad (4.16)$$

Burada  $\Delta L$  iletkenin yüzey uzunluğunun bir fonksiyonudur ve (4.3) ve (4.4) denklemlerindeki  $W$ 'nin yerine  $L$  ve  $\epsilon_{eW}$  yerine  $\epsilon_{eL}$  koyulması ile hesaplanır.  $\epsilon_{edL}$  ise şu denklemden bulunur [38]:

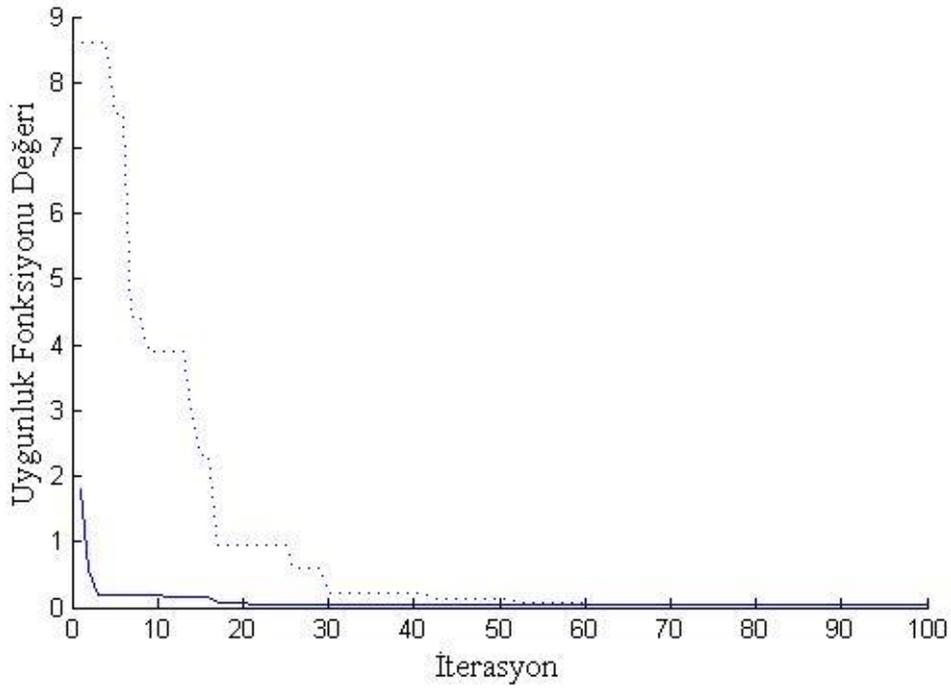
$$\epsilon_{edL} = \left( \frac{\lambda_0}{2L} \right)^2 \quad (4.17)$$

(4.1)'de verilen uygunluk fonksiyonuna göre, parçacık sürü optimizasyonu ve genetik algoritmalar kullanılarak hesaplanan fiziksel özellikler ve hesaplanan fiziksel özelliklere göre elde edilen elektromagnetik karakteristikler Çizelge 4.1'de verilmiştir. Hesaplamalar sonucunda elde edilmek istenen antenin elektromagnetik karakteristikleri şu şekildedir: Işınma frekansı 2.4 GHz, bant genişliği yüzde 17 ve giriş empedansı  $50\Omega$ . Hesaplamalarda kullanılan yalıtkan malzemenin dielektrik katsayısı 2.33 olarak seçilmiş olup antenin kalınlığı  $h$ , 10mm olarak alınmıştır.

İletken yüzeyin uzunluğu için arama aralığı  $0.25\lambda_0 \leq L < 0.8\lambda_0$ , genişliği için arama aralığı  $0.04\lambda_0 \leq W < 0.4\lambda_0$  ve besleme noktasının konumu için ise arama aralığı  $0.04\lambda_0 \leq d < 0.2\lambda_0$  olarak seçilmiştir. Çizelge 4.1'de yer alan fiziksel karakteristikler, yazılan programın 10 kere koşturulmasıyla elde edilen değerlerin arasındaki en iyi değerler olup, elektromagnetik karakteristikler bu en iyi değerlere göre hesaplanmıştır. Maksimum duran dalga oranı "2" olarak belirlenmiştir. Parçacık sürü optimizasyonu için tercih edilen sosyal ve bilişsel bileşenlerin her ikisi de 1.5 olup, atalet momenti 0.9'dan 0.4'e doğru doğrusal olarak azaltılmıştır. Genetik algoritmada ise mutasyon oranı 0.3 olarak alınmıştır. Arama uzayları daha önce kullanılan test fonksiyonlarına göre daha geniş bir alana yayıldığından, başlangıçta daha fazla bir alanın taranabilmesi amacıyla başlangıç toplulukları 60 olarak seçilmiştir.

**Çizelge 4.1:** DİMA Tasarım Sonuçları

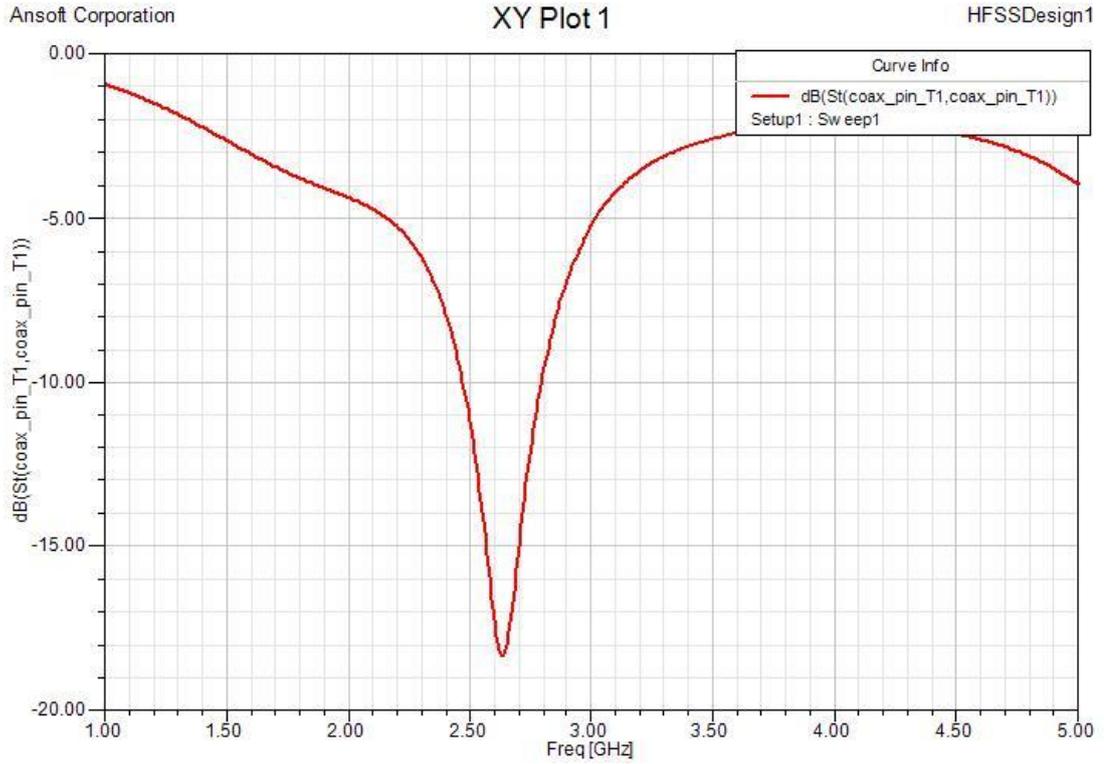
		PSO	GA
Fiziksel karakteristikler	Uzunluk (mm)	36.49	36.72
	Genişlik (mm)	9.68	8.8
	Besleme Konumu (mm)	9.18	10.27
Hesaplanan elektromagnetik karakteristikler	Frekans (GHz)	2.39	2.39
	Bant Genişliği (%)	17	17
	Giriş Empedansı( $\Omega$ )	49.93	49.95
Uygunluk fonksiyonu değeri		0.0306	0.0312
Hesaplama süresi (san.)		1.3	1.93



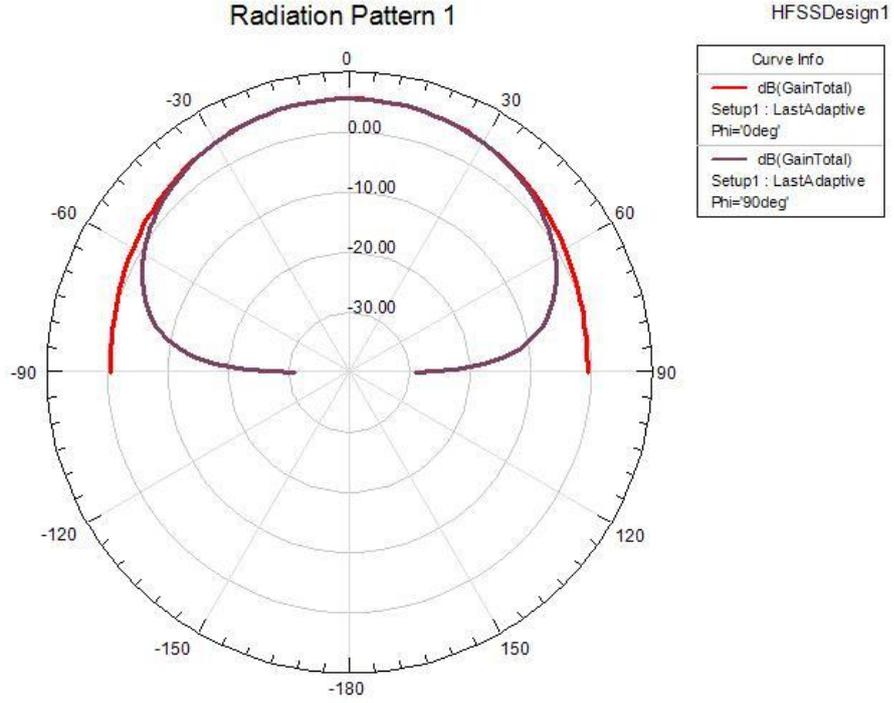
**Şekil 4.2:** DİMA Tasarımında Algoritmaların Yakınsama Durumları (PSO: düz çizgi, GA: noktalı çizgi)

#### 4.1.1.1 DİMA için HFSS Analizleri

İstenen özelliklerde bir dikdörtgen mikroşerit anten tasarlandıktan sonra, bu anten için HFSS analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerde hesaplanan fiziksel parametreler kullanılırken, dielektrik sabiti tasarımla aynı olan Rogers "RT/duroid 5870" dielektrik malzeme olarak seçilmiş, çözüm ağı boyutu dalga boyunun 1/10'u olarak alınmıştır. Aşağıdaki grafiklerde antenin sırasıyla  $S_{11}$  grafiği ve ışın diyagramı görülmektedir. Antenin analizde hesaplanan baskın ışın frekansı 2.64 GHz olup, bant genişliği ise yaklaşık olarak yüzde 22'dir.



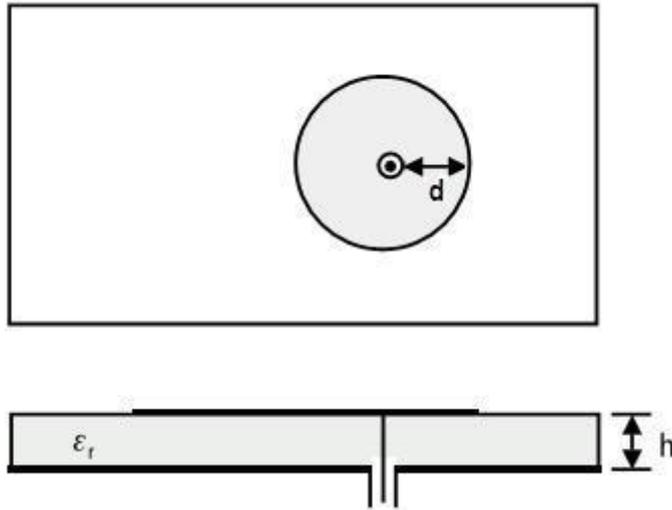
Şekil 4.3: DİMA  $S_{11}$  Grafiği



**Şekil 4.4:** DİMA Işıma Diyagramı

Antenin rezonans frekansı için analizlerde hesaplanan giriş empedansı değeri ise  $49.46\Omega$ 'dur ve analiz yaklaşık 8 dakika sürmüştür.

#### 4.1.2 Dairesel Mikroşerit Anten



**Şekil 4.5:** Dairesel Mikroşerit Anten

Şekil 4.5'te görülen anten bir dairesel mikroşerit antendir. Dairesel mikroşerit antenlerin (DAMA) de fiziksel parametrelerini değiştirerek antenin elektromagnetik karakteristiklerinin istenilen seviyelere getirilmesi mümkün olabilmektedir. Bu tip bir antende dielektrik katmanın kalınlığı  $h$ , dairesel iletken tabakanın çapı  $a$  ve antenin besleme noktası  $d$  değiştirilerek antenin istenen kazançla sahip olması, istenen frekansta ışınım yapması ve arzu edilen bant genişliğinde olması sağlanabilmektedir. Bu uygulamada kullanılan uygunluk fonksiyonu aşağıda gösterilmiştir [39]:

$$uygunluk = \delta_1 \left| \frac{f_r^i - f_r^h}{f_r^i} \right| + \delta_2 \left| \frac{R_g^i - R_g^h}{R_g^i} \right| + \delta_3 \left| \frac{G^i - G^h}{G^i} \right| + \delta_4 \left| \frac{BG^i - BG^h}{BG^i} \right| \quad (4.18)$$

Bu fonksiyondaki  $\delta_1$ ,  $\delta_2$ ,  $\delta_3$  ve  $\delta_4$  ağırlık katsayıları olup uygulama için bu katsayılar sırasıyla 5,1,3 ve 2 olarak belirlenmiştir.  $f_r^h$  hesaplanan rezonans frekansı,  $f_r^i$  istenen rezonans frekansı,  $R_g^i$  antenin istenen giriş empedansı,  $R_g^h$  hesaplanan giriş empedansı,  $G^i$  istenen anten kazancı,  $G^h$  hesaplanan kazanç,  $BG^i$  istenen bant genişliği,  $BG^h$  ise antenin hesaplanan bant genişliğidir. Hesaplanan ışınım frekansını şu denklemden yararlanarak elde etmek mümkündür [40]:

$$f_r = \frac{c\alpha_{nm}}{2\pi a_{eff} \sqrt{\epsilon_r}} \quad (4.19)$$

Burada  $c$  elektromagnetik dalgaların boşluktaki yayılma hızı,  $\epsilon_r$  yalıtkan tabakanın dielektrik katsayısıdır.  $\alpha_{nm}$ ,  $n$ . dereceden Bessel fonksiyonunun  $m$ . türevi olup mikroşerit antenlerde kullanılan yaygın bir  $TM_{nm}$  modu olan  $TM_{11}$  için bu değer 1.84118'dir.  $a_{eff}$  ise dairesel iletken yüzeyin etkin yarıçapı olup şu ifadeyle hesaplanır [40]:

$$a_{eff} = \frac{\pi a^2}{4} + \left[ 0.13 + \left( \frac{3.64}{\epsilon_r^{2.6}} \right) \right] h + \left( \frac{0.22}{a} \right) h^2 \quad (4.20)$$

$R_g$  dairesel mikroşerit antenin giriş empedansı olup şu denklemle hesaplanmaktadır [41]:

$$R_g = \frac{1}{G_t} \frac{J_1^2 kd}{J_1^2 ka} \quad (4.21)$$

Burada  $J_1$ , 1. dereceden Bessel fonksiyonu,  $k$  ise propagasyon sabitidir.  $G_t$ , toplam iletkenlik olup şu şekilde hesaplanır (Burada  $G_r$  ışına kayıplarına göre iletkenlik,  $G_d$  yalıtkan kayıplarına göre iletkenlik,  $G_c$  ise direnç kayıplarına göre iletkenliktir.):

$$G_t = G_r + G_d + G_c \quad (4.22)$$

$$G_r = \frac{2.39}{4\mu_0 h f_r Q_r} \quad (4.23)$$

$$G_d = \frac{2.39 \tan \delta}{4\mu_0 h f_r} \quad (4.24)$$

$$G_c = \frac{2.39 \pi \pi f_r \mu_0^{-3/2}}{4h^2 \sqrt{\sigma}} \quad (4.25)$$

$Q_r$  radyasyon kayıplarına göre iyilik faktörü olup formülü şu şekildedir:

$$Q_r = \frac{4a \alpha_{11}^2 \varepsilon_r^{3/2}}{h \alpha_{11}^3 F \alpha_{11} / \sqrt{\varepsilon_r}} \quad (4.26)$$

$\mu_0$  dielektriğin geçirgenliği,  $\sigma$  ise malzemenin iletkenliğidir.  $\tan \delta$ , dielektriğin kayıp tanjantıdır.  $F X$ , Bessel fonksiyonununundan türetilmektedir ve açılımı ile yaklaşık ifadeleri şu şekildedir:

$$F X = \frac{4}{X^3} 2X J_0 2X + X^2 - 1 \int_0^{2X} J_0 t dt \quad (4.27)$$

$$F X = 2.666667378 - 1.066662519X^2 + 0.209534311X^4 - 0.019411347X^6 + 0.001044121X^8 - 0.000049747X^{10} \quad (4.28)$$

Bir dairesel mikroşerit antenin kazancı aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanabilir [42]:

$$G = \frac{4\pi^3 a^2 R_r}{Z_0 \lambda^2} \quad (4.29)$$

Burada  $R_r$  ışına direnci,  $Z_0$  ise boşluğun empedansıdır. Boşluğun empedansı  $376.73\Omega$ 'dur.  $R_r$  ışına direnci:

$$R_r = \frac{M_0^2}{4} \quad (4.30)$$

$M_0$ , dairesel mikroşerit antenin maksimum manyetik akımı olup antenin yarıçapına bağlıdır.  $0.06\lambda$  ila  $0.3\lambda$  yarıçaplar arasındaki değerleri Çizelge 4.2'de verilmiştir.

**Çizelge 4.2:** DAMA İçin Maksimum Manyetik Akımlar

$a(\lambda)$	$M_0$	$a(\lambda)$	$M_0$	$a(\lambda)$	$M_0$
0.06	103.56	0.15	48.061	0.23	39.234
0.07	89.684	0.16	46.154	0.24	38.794
0.08	79.408	0.17	44.557	0.25	38.421
0.09	71.539	0.18	43.220	0.26	38.093
0.10	65.358	0.19	42.103	0.27	37.789
0.11	60.408	0.20	41.173	0.28	37.487
0.12	56.386	0.21	40.401	0.29	37.163
0.13	53.081	0.22	39.762	0.30	36.796
0.14	50.343				

GDDO<S olacak şekilde bir dairesel mikroşerit antenin bant genişliği ise şu şekilde hesaplanır [32]:

$$BG = \frac{S-1}{\sqrt{S}Q_t} \quad (4.31)$$

$Q_t$  sistem kayıplarına göre toplam iyilik faktörü olup aşağıdaki şekilde hesaplanır [41]:

$$Q_t = \left[ \frac{1}{Q_r} + \frac{1}{Q_c} + \frac{1}{Q_d} \right]^{-1} \quad (4.32)$$

$Q_r$  denklemi daha önce verilmiş olup,  $Q_c$  ve  $Q_d$  sırasıyla şu şekilde bulunur:

$$Q_c = \frac{h}{\pi f \mu_0 \sigma^{-1/2}} \quad (4.33)$$

$$Q_d = \frac{1}{\tan \delta} \quad (4.34)$$

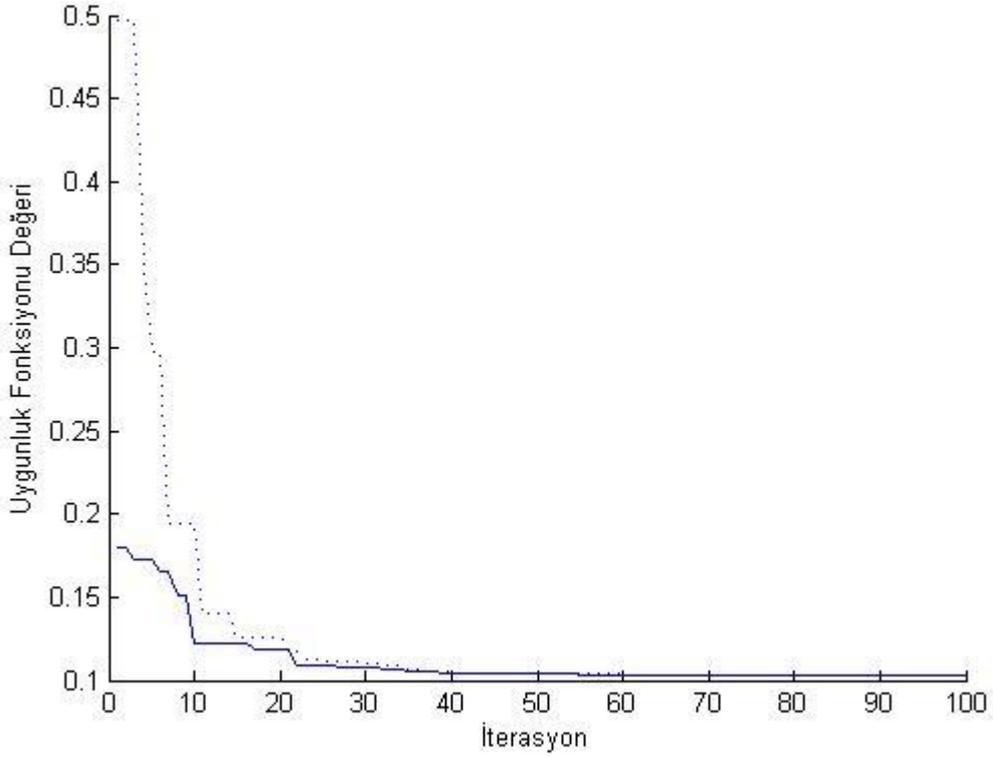
Dairesel mikroşerit anten için belirlenen uygunluk fonksiyonuna parçacık sürü optimizasyonu ve genetik algoritmaların uygulanması sonucu elde edilen fiziksel anten karakteristikleri ve bu karakteristiklere göre elde edilen elektromagnetik sonuçlar aşağıdaki tabloda listelenmiştir. Bu değerlere algoritmaların onar kez koşturulması sonrasında elde edilen değerlerin en iyileri alınarak ulaşılmıştır. Elde edilmek istenen antenin 3GHz'de ışımaya yapması ve kazancınının 7.5dB olması beklenmektedir. Bant genişliği olarak ise %10 seçilmiş olup, ek olarak antenin giriş empedansı için 50Ω hedeflenmiştir. Dalgaboyları cinsinden kısıtlama getirilen fiziksel parametreler ise şu şekildedir:  $0.06\lambda \leq a < 0.3\lambda$ ;  $0 < d < 2a$ ;  $0.01 \leq h < 0.1\lambda$ . S değeri 2 alınmıştır. Dielektrik katmanın dielektrik sabiti 2.33, kayıp tanjantı 0.02, bağıl manyetik geçirgenliği ise 1'dir. Tasarımda kullanılan metal bakır olup iletkenliği ise  $58 \times 10^6$  S/m olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.3'te gösterilmiştir. Şekil 4.4'te ise algoritmaların iterasyon sayısına göre yakınsama grafikleri görülmektedir.

Uygulamalarda hem parçacık sürü optimizasyonu hem de genetik algoritma için toplum sayıları 60 olarak seçilmiştir. Parçacık sürü optimizasyonu sosyal ve bilişsel bileşenlerinin her ikisi de 1.5 seçilmiş, atalet momenti 0.4-0.9 aralığında değiştirilmiştir. Genetik algoritma mutasyon katsayısı 0.2'dir.

**Çizelge 4.3:** DAMA Tasarım Sonuçları

		PSO	GA
Fiziksel karakteristikler	Yarıçap (mm)	13.01	14.64
	Kalınlık (mm)	8.98	7.24
	Besleme Konumu (mm)	16.85	19.5
Hesaplanan elektromagnetik karakteristikler	Frekans (GHz)	3	3
	Bant Genişliği (%)	10	9.9
	Giriş Empedansı( $\Omega$ )	49.8	49.9
	Kazanç (dB)	7.5	7.5
Uygunluk fonksiyonu değeri		0.1	0.1
Hesaplama süresi (san.)		1.22	1.82

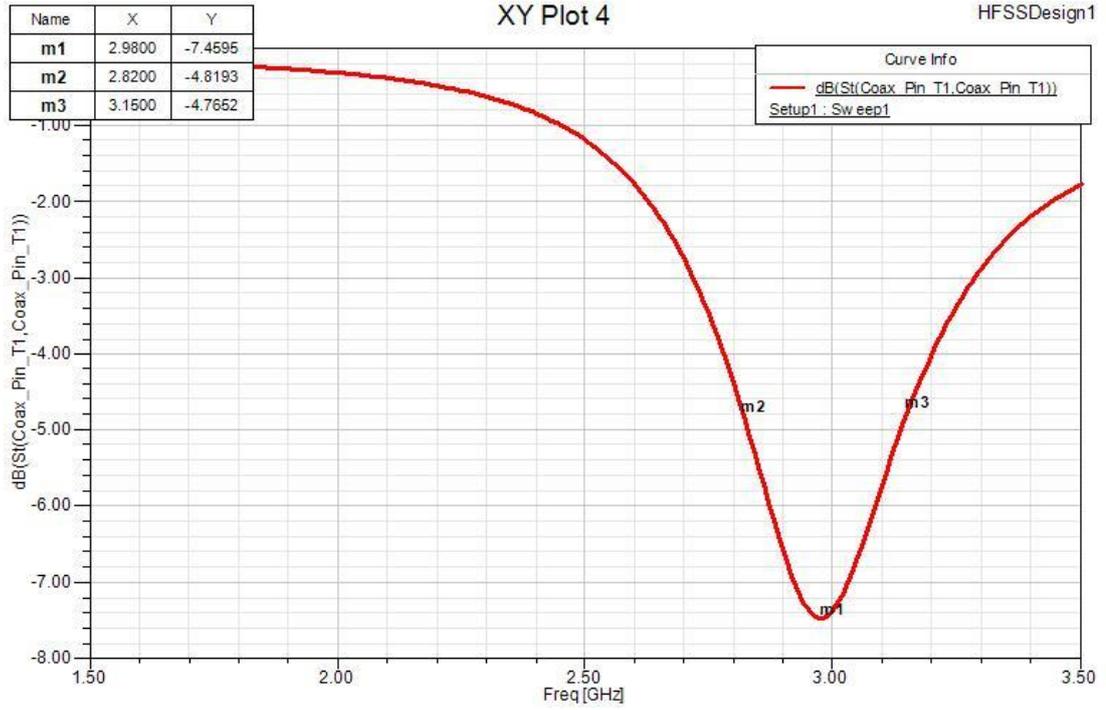
Yapılan uygulamalarda, parçacık sürü optimizasyonu hem sonuca daha çabuk yakınsadığı, hem de sonuca ulaşmak için gereken hesaplama süresinin genetik algoritmaya oranla çok daha kısa olduğu gözlenmiştir.



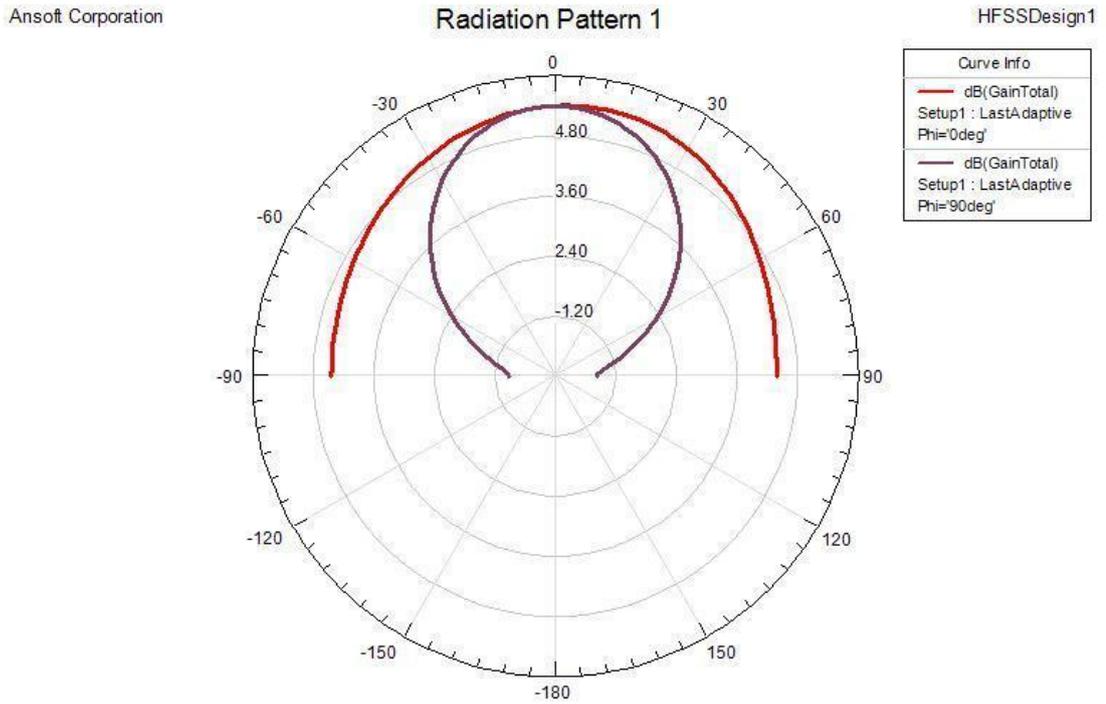
**Şekil 4.6:** DAMA Tasarımında Algoritmaların Yakınsama Durumları (PSO: düz çizgi, GA: noktalı çizgi)

#### 4.1.2.1 DAMA için HFSS Analizleri

Dairesel mikroşerit anten tasarımı yapıldıktan sonra, bu anten için HFSS analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerde hesaplanan fiziksel parametreler kullanılırken, dielektrik sabiti ve dielektrik kayıp tanjantı tasarımıyla aynı olan bir malzeme yazılımda tanımlı olarak bulunmadığından, bu özelliklere sahip yeni bir dielektrik malzeme yaratılmıştır. Çözüm ağı boyutu dalga boyunun 1/10'u olarak alınmıştır. Aşağıdaki grafiklerde antenin sırasıyla  $S_{11}$  grafiği ve ışıma diyagramı görülmektedir. Bu tasarım sonuçları ile analiz sonuçları arasında büyük bir fark göze çarpmamaktadır. Frekans değerinde yaklaşık 20 MHz'lik bir fark söz konusuysen, arzu edilen bant genişliği analizlerde biraz daha dar, kazanç ise biraz daha düşük çıkmaktadır. Giriş empedansı değeri ise beklendiği şekilde  $50\Omega$  mertebesinde. Analizin süresi yaklaşık 12 dakikadır.



Şekil 4.7: DAMA S<sub>11</sub> Grafiği

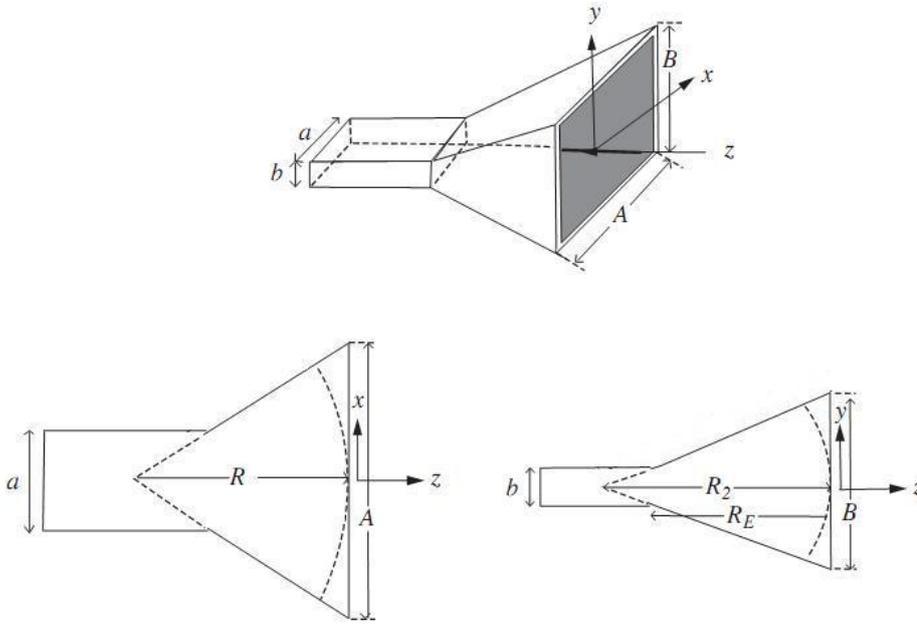


Şekil 4.8: DAMA Işıma Diyagramı

## 4.2 Horn Antenler

Horn antenler, üretimi en kolay olan ve en yaygın biçimde kullanılan mikrodalga antenlerin başında gelmektedir. Bunun başlıca sebebi, besleme hattına veya dalga kılavuzuna rahatlıkla bağlanabilmesi ve performansının kolaylık kontrol edilebilmesidir. Horn antenlerin kullanım alanları arasında standart anten kazancı ve arazi ölçümleri, yansıtıcı antenler için besleme elemanları ve mikrodalga haberleşme uygulamaları sayılabilir. Horn antenler bir çok şekilde olabilmesine rağmen en yaygınları piramit şekilli horn antenler ve konik horn antenlerdir. Piramit şekilli horn antenler doğrusal polarizasyon sağlamada kullanılırken, konik horn antenler ile dairesel polarizasyon elde etmek mümkündür.

### 4.2.1 Piramit Şekilli Horn Anten



**Şekil 4.9:** Piramit Horn Anten

Piramit şekilli bir horn anten ve bu tip bir antenin fiziksel özellikleri yukarıdaki şekillerde görülmektedir[43]. Piramit şekilli horn antenler dalga kılavuzlarının ucunun açık bırakılmasıyla ortaya çıkmışlardır ve hem yatay hem de dikey düzlemlerde genişletilmişler ve bu her iki düzlemde dar demet genişlikleri sağlamaktadır[44]. Ancak arzu edilen ışın diyagramını sağlamak için gerekli anten uzunluğu çok fazla olduğundan bu tarz antenlerin kullanımı pratik değildir. Optimizasyonun amacı, fiziksel parametreleri düzenleyerek istenilen kazanç ve demet genişliğine sahip bir horn anten elde etmektir.

Piramit şekilli horn antenler, yukarıda da belirtildiği ve şekillerden de anlaşılacağı gibi bir elektromagnetik dalga kılavuzu ve dalga kılavuzunun ön tarafındaki açıklık kısımdan oluşur. Elektromagnetik dalga kılavuzları, belirli standartlarda üretilirler ve bu standartlar belirli kesit uzunluklarına sahiptirler. Örneğin WR-90 dalga kılavuzunun kesit uzunlukları ( $a$  ve  $b$ ) sırasıyla 22.86 mm ve 10.16 mm'dir. Bu sebeple tasarımcının yapacağı değişiklikler antenin açıklık kısmında olacak ve  $A$ ,  $B$  ve  $R$  uzunluklarının optimize edilmesi sonucunda arzu edilen kazanç ve demet genişliğinde bir horn anten elde etmek mümkün olacaktır.

Piramit şekilli bir horn antenin kuvadratik faz dağılım sabitleri  $t$  ve  $s$  şu şekilde hesaplanır [45]:

$$t = \frac{1}{8} \left( \frac{A}{\lambda} \right)^2 \frac{\lambda}{R_1} = \frac{A A - a}{8 \lambda R} \quad (4.35)$$

$$s = \frac{1}{8} \left( \frac{B}{\lambda} \right)^2 \frac{\lambda}{R_2} = \frac{B B - b}{8 \lambda R} \quad (4.36)$$

Burada  $\lambda$ , antenin kullanılmak istendiği dalga boyudur. Antenin yönelticiliği şu şekilde ifade edilir [46]:

$$D = 10 \log \left[ \frac{\pi A B X s Y t}{8 \lambda^2 s t} \right] \quad (4.37)$$

$$X s = C^2 2\sqrt{s} + S^2 2\sqrt{s} \quad (4.38)$$

$$Y t = \left[ C \left( \frac{1}{4\sqrt{t}} + 2\sqrt{t} \right) - C \left( \frac{1}{4\sqrt{t}} - 2\sqrt{t} \right) \right]^2 + \left[ S \left( \frac{1}{4\sqrt{t}} + 2\sqrt{t} \right) - S \left( \frac{1}{4\sqrt{t}} - 2\sqrt{t} \right) \right]^2 \quad (4.39)$$

Burada  $C(x)$  ve  $S(x)$  kosinüs ve sinüs Fresnel integrallerini ifade etmektedir:

$$C(x) = \int_0^x \cos(t^2) dt \quad (4.40)$$

$$S(x) = \int_0^x \sin(t^2) dt \quad (4.41)$$

Arzu edilen demet genişliklerine göre bir horn anten tasarlayabilmek için,  $s$ ,  $t$  ve demet genişliği arasında bir bağıntı kurmak gereklidir. Bu amaçla bir çok horn anten incelenerek aşağıdaki bağıntılar elde edilmiştir [46]:

$$\omega_H = \frac{A}{\lambda} \frac{\tan\left(\frac{\Theta_{3dB}}{2}\right)}{\cos\left(\frac{\Theta_{3dB}}{2}\right)} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{a_h + c_h t^2 + e_h t^4 + g_h t^6 + i_h t^8}{1 + b_h t^2 + d_h t^4 + f_h t^6 + h_h t^8}}, \quad t \leq 0.88 \quad (4.42)$$

$$\omega_E = \frac{B}{\lambda} \frac{\tan\left(\frac{\Theta_{3dB}}{2}\right)}{\cos\left(\frac{\Theta_{3dB}}{2}\right)} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{a_e + c_e s^2 + e_e s^4 + g_e s^6}{1 + b_e s^2 + d_e s^4 + f_e s^6 + h_e s^8}}, \quad s \leq 0.47 \quad (4.43)$$

Yukarıdaki iki bağıntı, sırasıyla yatay ve düşey polarizasyonlar için geçerlidir. Bağıntılarda yer alan katsayılar Çizelge 4.4'te verilmiştir. Son olarak  $\cos(x)$ 'in  $\tan(x)$  dönüşümünü (4.44) bu bağıntılarda kullanırsak, antenin H ve E düzlemlerindeki demet genişliği denklemlerine ulaşırız (4.45 ve 4.46).

$$\cos x = \frac{1}{\sqrt{1 + \tan^2 x}} \quad (4.44)$$

$$\Theta_{H3dB} = 2 \tan^{-1} \left( \frac{\omega_H}{\sqrt{A/\lambda^2 - \omega_H^2}} \right) \quad (4.45)$$

$$\Theta_{E3dB} = 2 \tan^{-1} \left( \frac{\omega_E}{\sqrt{B/\lambda^2 - \omega_E^2}} \right) \quad (4.46)$$

**Çizelge 4.4:** Piramit Horn Anten 3dB Demet Genişliği Denklemlerindeki (4.42 ve 4.43) Katsayılar

$a_h$	0.3534	$a_e$	0.1962
$b_h$	-5.9711	$b_e$	-11.3448
$c_h$	-1.5379	$c_e$	-1.9135
$d_h$	13.4735	$d_e$	41.7800
$e_h$	2.4359	$e_e$	5.7284
$f_h$	-13.3102	$f_e$	-47.9711
$g_h$	-1.6386	$g_e$	-4.8935
$h_h$	4.7981	$h_e$	-6.4175
$i_h$	0.6333		

Piramit şekilli horn anten optimizasyonu uygulaması için belirlenen uygunluk fonksiyonu ise aşağıdaki gibidir:

$$uygunluk = \delta_1 |D^i - D^h| + \delta_2 |\Theta_{E3dB}^i - \Theta_{E3dB}^h| + \delta_3 |\Theta_{H3dB}^i - \Theta_{H3dB}^h| \quad (4.47)$$

Bu fonksiyonda  $D^i$  arzu edilen anten yönelticiliği,  $D^h$  ise optimizasyon sonucunda elde edilen antenin yönelticiliğidir.  $\Theta_{3dB}^i$  değerleri arzu edilen demet genişliği,  $\Theta_{3dB}^h$  değerleri ise elde edilen 3dB demet genişlikleridir.  $A$ ,  $B$  ve  $R$  değerleri bilinmeyenler olarak seçilmiştir.  $\delta_1$ ,  $\delta_2$  ve  $\delta_3$  ağırlık katsayıları ise sırasıyla 4, 2 ve 2 olarak belirlenmiştir.

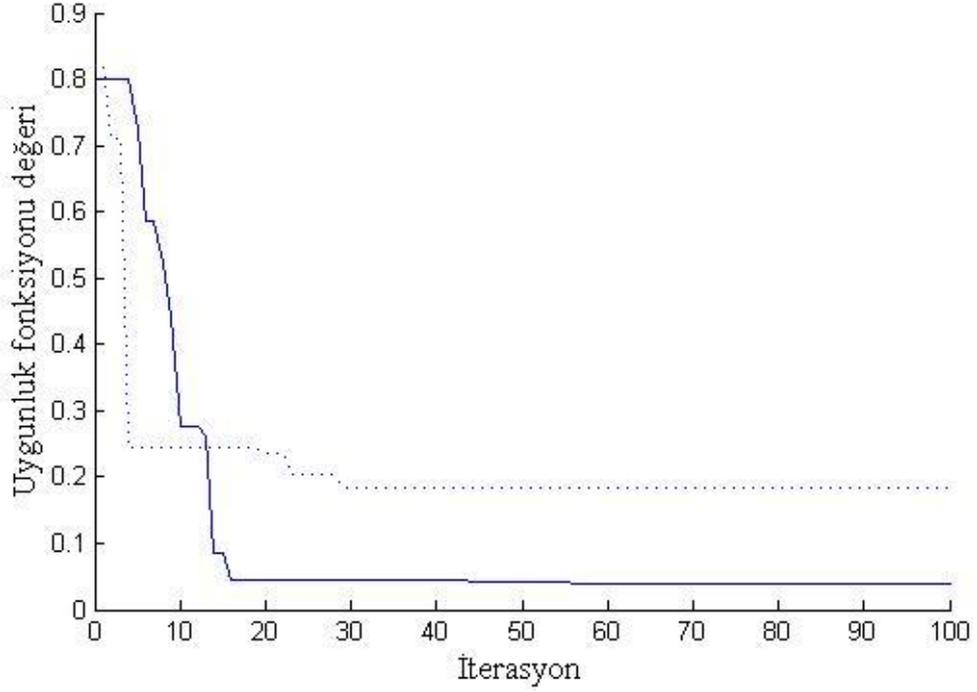
Uygulamada hem parçacık sürü optimizasyonu, hem de sürekli genetik algoritma yöntemleri kullanılarak istenilen elektromagnetik karakteristiklere uygun fiziksel parametreler belirlenmiş ve bu değerler Çizelge 4.5'te listelenmiştir. Elde edilmek istenen anten 15dB kazanca sahip olup, H düzleminde demet genişliği  $30^\circ$ , E düzleminde ise  $15^\circ$  olarak belirlenmiştir. Anteni beslemekte olan dalga kılavuzu standardı WR-75'tir ve antenin kullanılacağı frekans 10 GHz'dir.

Antenin açıklığının fiziksel uzunluklarının dalga kılavuzundan daha kısa olamayacağı göz önüne alınmış, izin verilecek en fazla uzunluk ise kenarlar için 20cm, horn antenin uzunluğu için ise 25 cm olarak tercih edilmiştir ( $a < A < 20$ ;  $b < B < 20$ ;  $0 < R < 25$ ). WR-75 dalga kılavuzunun boyutları sırasıyla  $a=1.9050$  ve  $b=0.9525$  cm'dir.

**Çizelge 4.5:** Piramit Horn Anten Tasarım Sonuçları

		PSO	GA
Fiziksel Karakteristikler	A (cm)	6.32	6.29
	B (cm)	12.7	12.68
	R (cm)	11.71	11.71
Hesaplanan Elektromagnetik Karakteristikler	H Düzlemi Demet Genişliği (°)	33	33.15
	E Düzlemi Demet Genişliği (°)	15	14.65
	Yönelticilik (dB)	15	14.99
Hesaplama Süresi (san.)		54.85	72.1

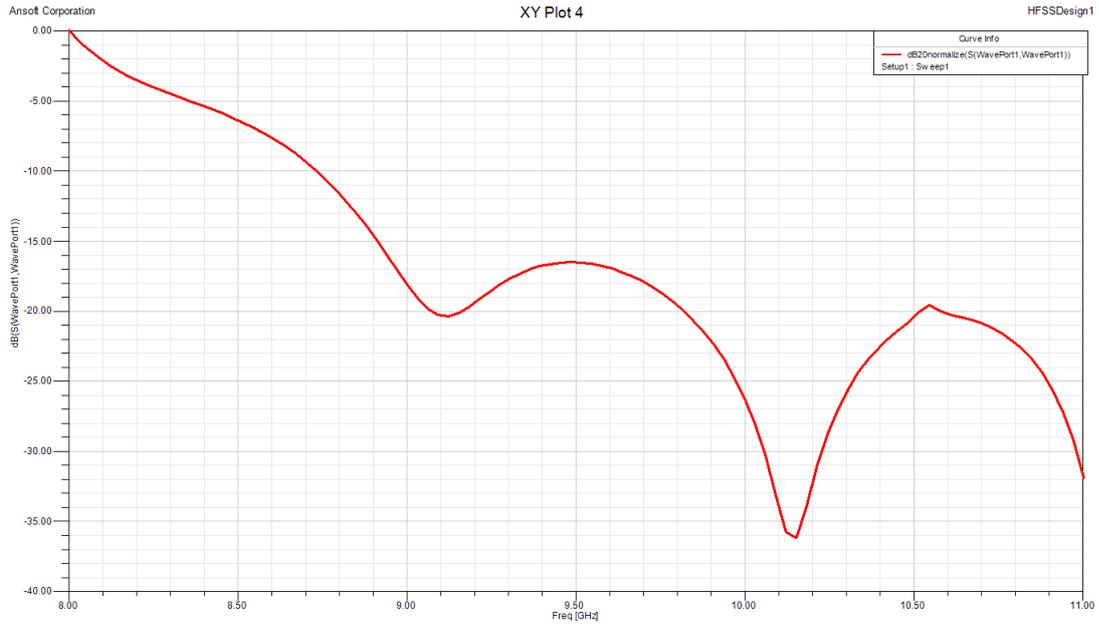
Hem parçacık sürü optimizasyonu hem de genetik algoritma için tasarımda popülasyon büyüklüğü 60 olarak seçilmiştir. Bu uygulama için PSO parametrelerinden  $c_1$  ve  $c_2$  sırasıyla 1.5 ve 2 alındığında daha yakınsama daha çabuk olmaktadır. Atalet parametresi yine 0.4-0.9 aralığında değişirken, genetik algoritma mutasyon oranı 0.3 olarak seçilmiştir. Parçacık sürü optimizasyonu için parçacık, genetik algoritma için ise kromozom sayısı 40'tır. Anten için her iki algoritma da 10'ar kez koşturulduktan sonra, elde edilen değerlerde önemli farklılıklar olduğu gözlenmiştir. Bu hesaplamalar arasından en iyi uygunluk değerlerine sahip çözümler Çizelge 4.5'de gösterilmektedir. Algoritmaların yakınsama durumları ise aşağıdaki şekilde görülmektedir.



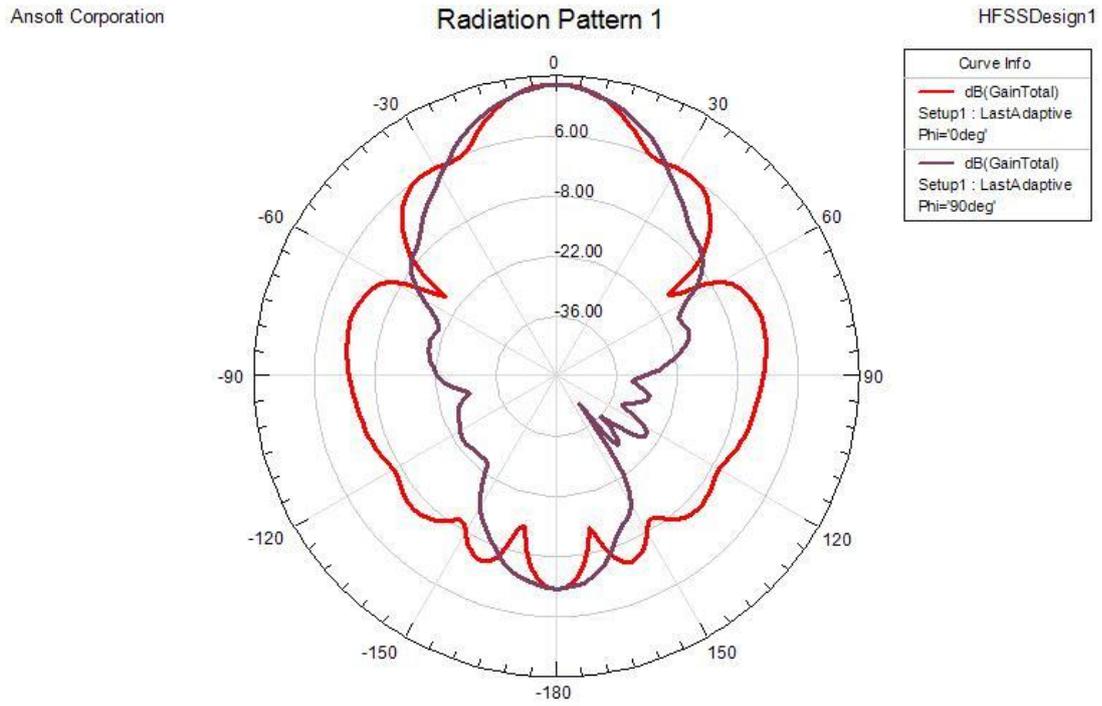
**Şekil 4.10:** Piramit Horn Anten Tasarımında Yakınsama Durumları  
(PSO: düz çizgi, GA: noktalı çizgi)

#### 4.2.1.1 Piramit Horn Anten için HFSS Analizleri

Mikroşerit antenlerde olduğu gibi horn antenler için de HFSS kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Piramit horn anten için analizlerin sonuçları aşağıdaki şekillerde görülmektedir. Anten yaklaşık olarak 10 GHz'de ışınım yapmakta olup, demet genişliği istenilen büyüklüklerde çıkmıştır. Antenin kazancı ise arzu edilen değerden biraz daha yüksek olup yaklaşık olarak 18 dB'dir. Yapılan analiz yaklaşık olarak 12 dakika sürmüştür.



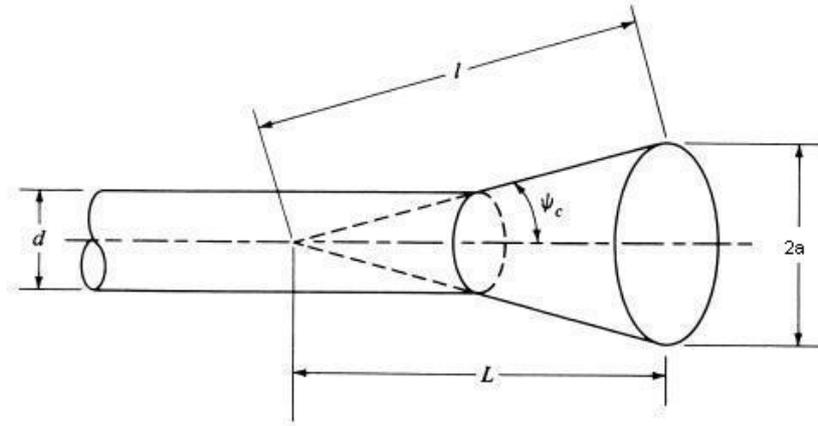
Şekil 4.11: Piramit Horn Anten  $S_{11}$  Grafiği



Şekil 4.12: Piramit Horn Anten Işıma Diyagramı

#### 4.2.2 Konik Horn Anten

Konik horn antenler de aynı piramit horn antenler gibi bir dalga kılavuzu ve bir açıklık kısmından oluşan antenlerdir. Piramit horn antenler genellikle dikdörtgen şeklindeki bir dalga kılavuzu ile beslenirken, konik horn antenler dairesel kılavuz aracılığıyla beslenirler. Piramit horn antenlerden farkları, doğrusal polarizasyon değil dairesel polarizasyona müsade etmeleridir. Aşağıdaki şekilde tipik bir konik horn anten görülmektedir [45].



Şekil 4.13: Konik Horn Anten

Uzunluğu belirli bir konik horn antende yayılma açısı genişledikçe, antenin yönelticiliği maksimum bir seviyeye kadar artar ve bu genişlikten sonraki genişliklerde düşmeye başlar [45]. Bir konik horn antenin yönelticiliği şu formülle hesaplanır:

$$D_c = 10 \log_{10} \left[ \epsilon_{ap} \frac{4\pi}{\lambda^2} \pi a^2 \right] = 10 \log_{10} \left( \frac{C}{\lambda} \right)^2 - L s \quad (4.48)$$

Bu denklemde  $\epsilon_{ap}$  açıklık verimliliği,  $C$  ise açıklığın çevresi olup  $a$ , horn antenin açıklık yarıçapıdır.  $L(s)$  ise açıklık etkinliğine göre yönlülük kaybı olup şu şekilde hesaplanır:

$$L s = -10 \log_{10} \epsilon_{ap} \quad (4.49)$$

$$L s \approx 0.8 - 1.71s + 26.25s^2 - 17.79s^3 \quad (4.50)$$

Denklem 4.48, 4.49 ve 4.50'de kullanılan  $s$ , dalgaboyu cinsinden maksimum faz sapması olup şu şekilde bulunur:

$$s = \frac{d_m^2}{8\lambda l} \quad (4.51)$$

Burada  $d_m (=2a)$  horn antenin açıklık çapıdır.

Konik horn antenlerin  $TE_{11}$  modunun dikey ve yatay düzlemlerdeki ışın diyagramları elektrik alan denklemleri kullanılarak belirlenmiştir [47]. Bu diyagramlardan çıkartılmış, 3 dB ve 10 dB noktalarındaki demet genişliklerinin  $TE_{11}$  modu için listelendiği tablo, Çizelge 4.6'da görülmektedir. Tablodaki değerlerde maksimum faz sapmasına göre  $k$ -boşluğu değerleri yer almaktadır [48].

$$k - boşluk = \frac{2\pi a}{\lambda} \sin \theta \quad (4.52)$$

$$\theta_H = \arcsin \frac{\lambda \ k - boşluk_H}{2\pi a} \quad (4.53)$$

$$\theta_E = \arcsin \frac{\lambda \ k - boşluk_E}{2\pi a} \quad (4.54)$$

**Çizelge 4.6:**  $TE_{11}$  Modu için Konik Horn Anten Demet Genişliği  $k$ -boşluk Parametreleri

s	10dB noktası için $k$ -boşluk		3dB noktası için $k$ -boşluk	
	E-düzlemi	H- düzlemi	E-düzlemi	H- düzlemi
0	2,7314	3,5189	1.6163	2.0376
0,04	2,7368	3,5211	1.6175	2.0380
0,08	2,7536	3,5278	1.6212	2.0391
0,12	2,7835	3,5393	1.6273	2.0410
0,16	2,8296	3,5563	1.6364	2.0438
0,2	2,8982	3,5799	1.6486	2.0477
0,24	3,0024	3,6115	1.6647	2.0527
0,28	3,1757	3,6536	1.6855	2.0592
0,32	3,572	3,7099	1.7123	2.0676
0,36	4,6423	3,7863	1.7471	2.0783
0,4	5,0492	3,8933	1.7930	2.0920
0,44	5,3139	4,0504	1.8552	2.1100
0,48	5,5375	4,2967	1.9441	2.1335
0,52	5,7558	4,6962	2.0823	2.1652
0,56	6,0012	5,2173	2.3435	2.2089
0,6	6,35	5,6872	3.4329	2.2712
0,64	7,6968	6,0863	4.3656	2.3652
0,68	8,4389	6,4622	4.8119	2.5195

Tasarımda kullanılan uygunluk fonksiyonu ise şu şekilde belirlenmiştir:

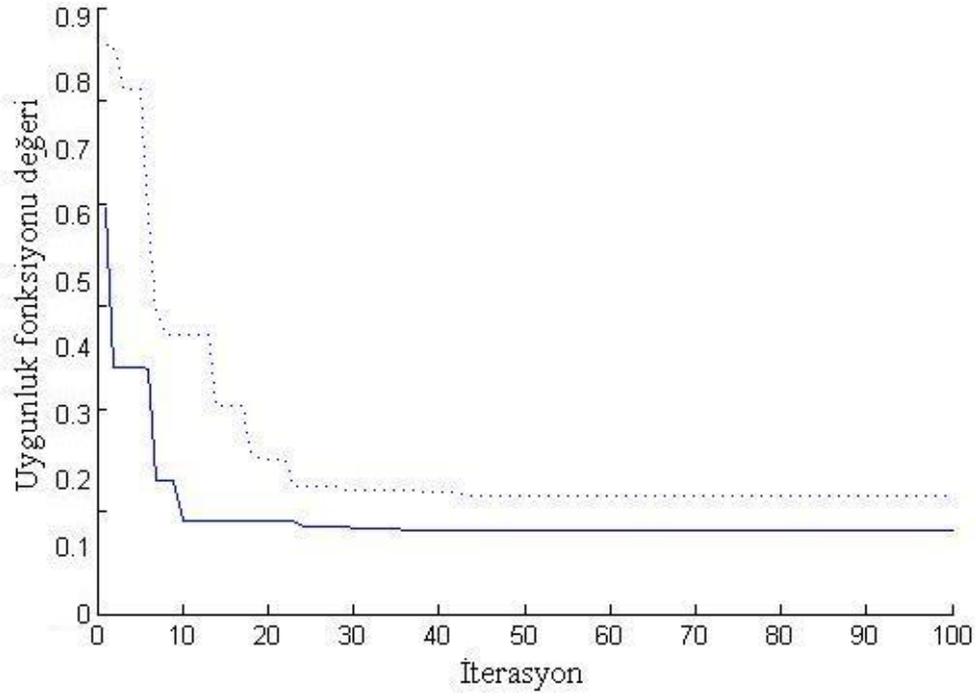
$$uygunluk = \delta |D^i - D^h| + |\theta_H^i - \theta_H^h| + |\theta_E^i - \theta_E^h| \quad (4.55)$$

Burada  $\delta$  ağırlık katsayısı olup "4" olarak belirlenmiştir.  $D^i$  istenen yöneltilik,  $D^h$  hesaplanan yöneltilik,  $\theta_H^i$  yatay düzlemde istenen demet genişliği,  $\theta_H^h$  H düzleminde hesaplanan demet genişliği,  $\theta_E^i$  ve  $\theta_E^h$  ise sırasıyla E düzleminde istenen ve hesaplanan demet genişlikleridir.

Tasarlanmak istenen antenin 5 GHz'de 20dB kazanca sahip olması ve her iki düzlemde de demet genişliklerinin  $30^\circ$  olması arzu edilmektedir. Antenin uzunluğu en fazla  $8\lambda$ ; çapı ise  $5\lambda$  olarak kısıtlanmıştır. Tabloda parçacık sürü optimizasyonu ve genetik algoritma kullanılarak elde edilen değerler, şekilde ise algoritmaların yakınsama durumları görülmektedir. Her iki algoritma için de toplum büyüklükleri 40 olarak seçilmiş olup, parçacık sürü optimizasyonunda  $c_1$  ve  $c_2$  katsayılarının her ikisi de 1.5; genetik algoritmada mutasyon katsayısı 0.2 olarak seçilmiştir.

**Çizelge 4.7:** Konik Horn Anten Tasarım Sonuçları

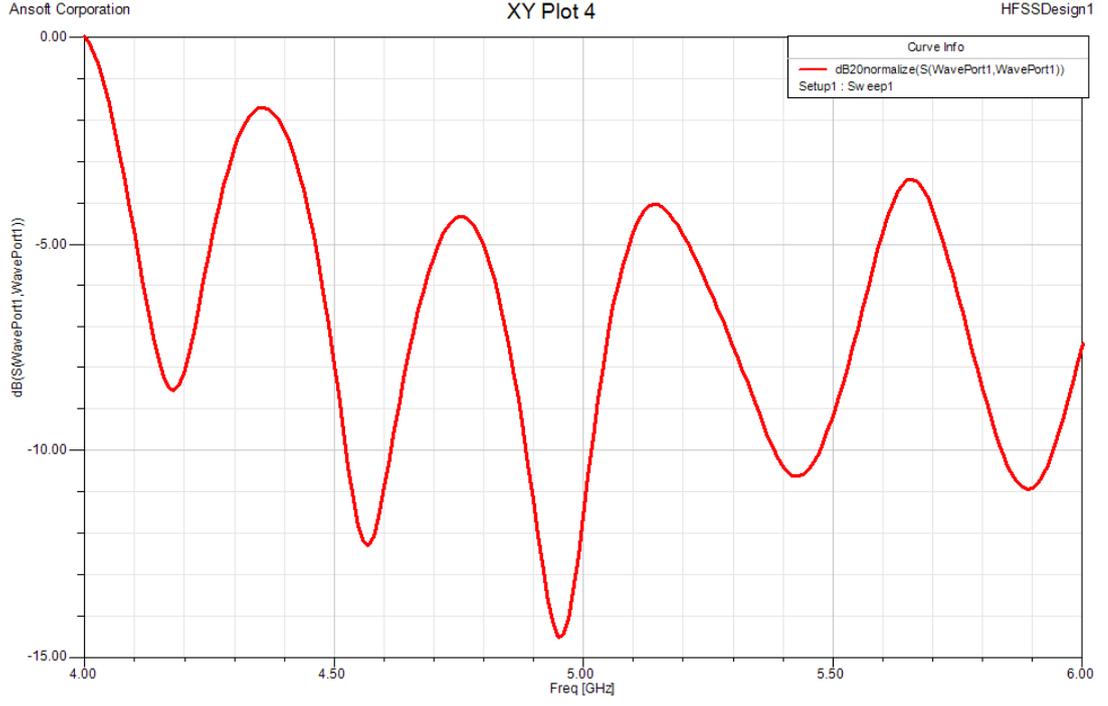
		PSO	GA
Fiziksel Karakteristikler	Uzunluk (cm)	42.41	42.19
	Yarıçap (cm)	12.1	12.07
Hesaplanan Elektromagnetik Karakteristikler	H Düzlemi Demet Genişliği ( $^\circ$ )	33.9	33.9
	E Düzlemi Demet Genişliği ( $^\circ$ )	29.9	30
	Yöneltilik (dB)	19.99	19.87
Hesaplama Süresi (san.)		3.53	5.87



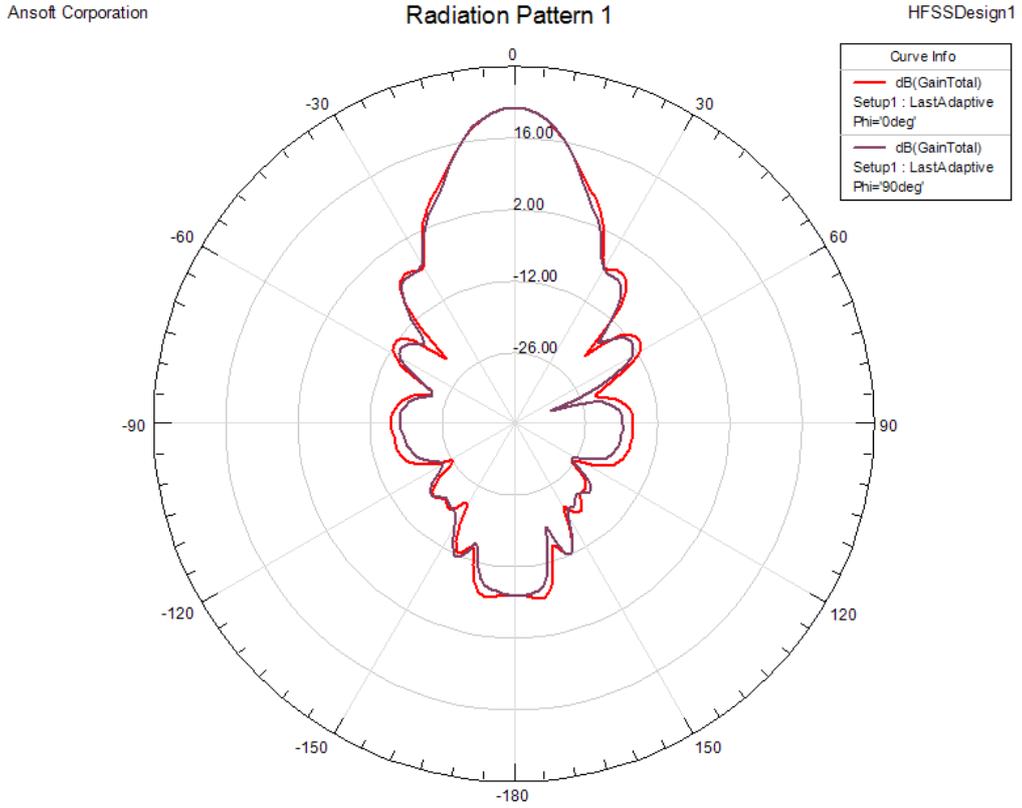
**Şekil 4.14:** Konik Horn Anten Tasarımı Yakınsama Durumları  
(PSO: düz çizgi, GA: noktalı çizgi)

#### 4.2.2.1 Konik Horn Anten için HFSS Analizleri

Konik horn anten için yapılan analizlerin sonuçları aşağıdaki şekillerde görülmektedir. Anten yaklaşık olarak 5 GHz'de ışınım yapmaktadır, demet genişliği istenilen büyüklüklerde çıkmıştır. Antenin yönelticiliği ise yaklaşık olarak 20 dB'dir. Analiz süresi yaklaşık 12 dakikadır.



Şekil 4.15: Konik Horn Anten  $S_{11}$  Diyagramı



Şekil 4.16: Konik Horn Anten Işıma Diyagramı



## 5. SONUÇLAR

Bu çalışmanın konusu, parçacık sürü optimizasyonu kullanılarak çeşitli mikrodalga antenlerinin tasarım probleminin çözümüdür. Tasarım problemlerinin amacı, istenen elektromagnetik karakteristiklere sahip olan antenlerin gerçekleştirilmesi amacıyla antenlerin sahip olması gereken fiziksel özelliklerin belirlenebilmesidir.

Parçacık sürü optimizasyonu, yakın tarihte geliştirilmiş bir optimizasyon algoritmasıdır. Ortaya çıkışını hayvan sürülerinin hareketlerinin incelenmesine borçlu olan bu algoritmanın çalışma tarzı, bir çiçek tarlasında en yoğun çiçek bulunan bölgeyi arayan arıların hareket tarzına benzetilebilir. Diğer rastgele arama algoritmalarının aksine parçacık sürü optimizasyonunun basit ve global bir yöntem olması en önemli avantajlarından birisi olup bir çok optimizasyon problemine de kolaylıkla uygulanabilmektedir.

Mikrodalga anten tasarımı problemleri, elektromagnetik optimizasyon araştırma alanlarının önemli çalışma alanlarından birisidir. Antenlerin düzgün bir şekilde optimizasyonu, hem antenlerin elektromagnetik karakteristiklerinin istenen düzeye getirilebilmesini sağlamakta hem de test gereksinimlerini azalttığından üretim maliyetini azaltmaktadır. Aynı zamanda fiziksel karakteristiklerin doğru belirlenebilmesi, antenlerin kullanılacağı sistemlerin de tasarımını kolaylaştırmaktadır.

Bu çalışmada ilk olarak parçacık sürü optimizasyonu, genetik algoritma ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmada amaç, hangi optimizasyon yönteminin problemlere uygulandığında daha iyi sonuçlar verdiği ve sonuca daha çabuk ulaşmayı sağladığını belirlemektir. Bunun için, global değerleri bilinen standard test fonksiyonları kullanılarak algoritmalar karşılaştırılmış ve bu karşılaştırmalar sonrasında parçacık sürü optimizasyonunun daha hızlı bir biçimde sonuca yakınsadığı ve daha doğru sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

Daha sonra bazı mikrodalga antenlerin tasarım problemleri ortaya konulmuş ve bu problemler hem parçacık sürü optimizasyonu hem de genetik algoritma kullanılarak çözülmüştür. Bu çözümlerde de parçacık sürü optimizasyonunun genetik algoritmaya oranla daha başarılı bir biçimde çalıştığı görülmüştür. Tasarım problemi çözülen antenler dikdörtgen mikroşerit anten, dairesel mikroşerit anten, piramit şekilli horn anten ve konik horn antendir. Hem test fonksiyonlarının çözümü hem de anten tasarım problemlerinin çözümleri için MATLAB® yazılımı kullanılmıştır.

Parçacık sürü optimizasyonu aracılığıyla elde edilen anten tasarımı sonuçları, Ansoft HFSS™ yazılımı aracılığıyla yapılan analizlerle test edilmiştir. Bu analizlerde elde edilen değerlerin, tasarımda kullanılan denklemlerle elde edilen sonuçlarla uyumlu olduğu gözlenmektedir. HFSS™ yazılımı ile yapılan analizler, sonlu elemanlar yöntemine dayalı elektromagnetik çözüm yaklaşımı kullanıldığı için daha doğru fakat yavaş sonuç vermektedir. Bu çalışmada kullanılan tasarım yaklaşımı HFSS™ ile elde edilen sonuçlara yakın değerlerin hızlı bir biçimde elde edilmesini sağlamıştır.

Bundan sonraki çalışmalarda öncelikli amaç, daha çabuk çözüme ulaşacak şekilde parçacık sürü optimizasyonu algoritmasının parametrelerinin belirlenmesi olmalıdır. Bu sayede algoritmanın verimi artırılmış olacaktır. Ayrıca mutasyon ve seleksiyon gibi evrimsel yöntemlerin parçacık sürü optimizasyonu algoritmasına dahil edilmesi ile elde edilebilecek karma algoritmalar, çok daha başarılı optimizasyon yöntemlerinin ortaya çıkmasını sağlayacaktır. Bu optimizasyon yöntemlerinin HFSS™ ile birlikte kullanılması daha doğru ve hızlı sonuç veren yeni tasarım yaklaşımlarının ortaya konulabilmesinde de yararlı olacaktır.

## KAYNAKLAR

- [1] **Robbins, H. and Monro, S.**, 1951. A stochastic approximation method, *Annals of Mathematical Statistics*, **22**, 400-407.
- [2] **Kennedy, J. and Eberhart, R.**, 1995. Particle swarm optimization, *Proceedings IEEE International Conference on Neural Networks*, 4, 1942-1948.
- [3] **Eberhart, R.C. and Shi, Y.**, 2001. Particle swarm optimization: developments, applications and resources, *Proceedings of the 2001 Congress on Evolutionary Computation*, 81-86.
- [4] **Eberhart, R.C. and Hu, X.**, 1999. Human tremor analysis using particle swarm optimization, *Proceedings of Congress on Evolutionary Computation*, 1927-1930.
- [5] **Yoshida, H., Kawata, K., Fukuyama, Y. and Nakanishi, Y.**, 1999. A particle swarm optimization for reactive power Torres and A. P. Alves da Silva, *Proceedings of International Conference on Intelligent System Application to Power Systems*, 117-121.
- [6] **Robinson, J. and Rahmat-Samii, Y.**, 2004. Particle swarm optimization in electromagnetics, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 52(2), 397-407.
- [7] **Trelea, I.C.**, 2003. The particle swarm optimization algorithm: convergence analysis and parameter selection, *Information Processing Letters*, 85, 317-325.
- [8] **Clerc, M.**, 1999. The swarm and the queen: towards a deterministic and adaptive particle swarm optimization, *Proceedings of IEEE International Conference on Evolutionary Computation*, 1951-1957.
- [9] **Clerc, M. and Kennedy, J.**, 2002. The particle swarm-explosion, stability and convergence in a multidimensional complex space, *IEEE Transactions on Evolutionary Computing*, 6(1), 58-73.
- [10] **Jin, N. and Rahmat-Samii, Y.**, 2008. Particle swarm optimization for antenna designs in engineering electromagnetics, *Journal of Artificial Evolution and Applications*, 8(2), 1-10.
- [11] **Jin, N. and Rahmat-Samii, Y.**, 2007. Advances in particle swarm optimization for antenna designs: real-number, binary, single-objective and multiobjective implementations, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 55(3), 556-567.
- [12] **Li, W.T., Xu, L. and Shi, X.W.**, 2008. A hybrid of genetic algorithm and particle swarm optimization for antenna design, *Proceedings of Progress in Electromagnetics Research Symposium*, 4(1), 56-59.

- [13] **Robinson, J., Sinton, S. and Rahmat-Samii, Y.**, 2002. Particle swarm, genetic algorithm and their hybrids: optimization of a profiled corrugated horn antenna, *Proceedings of IEEE International Symposium on Antennas and Propagation*, 1, 314-317.
- [14] **Akbulut, I. and Günel, T.**, 2009. Particle swarm optimization approach to the design of microwave antennas, *Progress in Electromagnetics Research Symposium in Beijing, China*, accepted for presentation.
- [15] **Kennedy, J. and Spears, W.M.**, 1998. Matching algorithms to problems: an experimental test of the particle swarm and some genetic algorithms on multimodal problem generator, *Proceedings of IEEE World Congress on Computational Intelligence*, 78-84.
- [16] **Hassan, R., Cohanım, B., deWeck, O. and Venter, G.**, 2005. A comparison of particle swarm optimization and the genetic algorithm, *Proceedings of 46th AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference*.
- [17] **Shi, Y. and Eberhart, R.**, 1998. A modified particle swarm optimizer, *Proceedings of the 1998 Conference on Evolutionary Computation*, 69-73.
- [18] **Carlisle, A. and Dozier, G.**, 2001. An off-the-shelf PSO, *Proceedings Workshop Particle Swarm Optimization*.
- [19] **Sivanandam, S.N. and Deepa, S.N.**, 2008. Introduction to genetic algorithms, Springer, Berlin Heidelberg.
- [20] **Holland, J.H.**, 1975. Adaptation in natural and artificial systems, University of Michigan Press, Ann Arbor.
- [21] **Goldberg, D.E.**, 1989. Genetic algorithms in search optimization and machine learning, Addison-Wesley, New York.
- [22] **Haupt, R.L. and Haupt, S.E.**, 2004. Practical genetic algorithms, John Wiley and Sons, New York.
- [23] **Lo, Y.T., Solomon, D. and Richards, W.**, 1979. Theory and experiment on microstrip antennas, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 27, 137-149.
- [24] **Kumar, G. and Ray, K.**, 2003. Broadband microstrip antennas, Artech House, Norwood Massachusetts.
- [25] **James, J. and Hall, P.**, 1989. Handbook of microstrip antennas vol.1, Peter Peregrinus Ltd, London.
- [26] **Lee, H. and Chen, W.**, 1997. Advances in microstrip and printed antenna, John Wiley and Sons, New York.
- [27] **Gunel, T.**, 2000. A fuzzy hybrid approach for the synthesis of rectangular microstrip antenna elements with thick substrates, *Microwave and Optical Technology Letters*, 26(6), 351-355.
- [28] **Kara, M.**, 1996. Closed form expressions for the resonant frequency of rectangular microstrip antenna elements with thick substrates, *Microwave and Optical Technology Letters*, 12, 131-136.

- [29] **Schneider, M.V.**, 1969. Microstrip line for microwave integrated circuits, *Bell Systems Technology Journals*, 48, 1421-1444.
- [30] **Hammerstad, E.O.**, 1975. Equations for microstrip circuit design, *5th European Microwave Conference*, 268-272.
- [31] **Garg, R. and Long, S.A.**, 1987. Resonant frequency of electrically thick rectangular microstrip antenna, *Electronic Letters*, 23, 1149-1151.
- [32] **James, J., Hall, P. and Wood, C.**, 1981. Microstrip antenna theory and design, Peter Peregrinus Ltd, London.
- [33] **Owens, R.P.**, 1976. Accurate analytical determination of quasistatic microstrip line parameters, *Radio Electronics Engineering*, 46, 360-364.
- [34] **Kara, M.**, 1996. A novel technique to calculate the bandwidth of rectangular microstrip antenna elements with thick substrates, *Microwave and Optical Technology Letters*, 12, 59-63.
- [35] **Bahl, I.J. and Bhartia, P.**, 1980. Microstrip antennas, Artech House, Dedham, Massachusetts.
- [36] **Vandensande, J., Pues, H. and VandeCapelle, A.**, 1979. Calculation of the bandwidth of microstrip resonator antennas, *Proceedings of 9th European Microwave Conference*, 116-119.
- [37] **Kara, M.**, 1996. An efficient technique for the computation of the input resistance of rectangular microstrip antenna elements with thick substrates, *Microwave and Optical Technology Letters*, 13, 363-369.
- [38] **Mosig, J.R. and Gardiol, F.D.**, 1982. A dynamic radiation model for microstrip structures, *Advances in Electronic Physics*, 59, 139-227.
- [39] **Günel, T. and Erer, I.**, 2002. Application of fuzzy genetic algorithm to the problem of synthesizing circular microstrip antenna elements with thick substrates, *International Journal of Electronics and Communications*, 56(3), 215-217.
- [40] **Karaboga, N., Guney, K. and Akdagli, A.**, 1999. A new effective patch radius expression obtained by using a modified tabu search algorithm for the resonant frequency of electrically thick circular microstrip antennae, *International Journal of Electronics*, 86, 825-835.
- [41] **Abboud, F., Damiano, J.P. and Papiernik, A.**, 1990. A new model for calculating the input impedance of coax-fed circular microstrip antennas with and without gaps, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 38, 1882-1884.
- [42] **Diaz, L. and Milligan, T.**, 1996. Antenna engineering using physical optics: practical CAD techniques and software, Artech House, Boston.
- [43] **Huang, Y. and Boyle, K.**, 2008. Antennas From Theory to Practice, John Wiley and Sons, New York.
- [44] **Günel, T.**, 2007. A genetic approach to the design of pyramidal horns under constraints on directivity and half-power beamwidth, *Eighth National Conference with International Participation*, T3-6, Republic of Macedonia.

- [45] **Balanis, C.A.**, 2005. Antenna theory: analysis and design, John Wiley and Sons, New York.
- [46] **Kordas, G., Baltzis, K.B., Miaris, G.S. and Sahalos, J.**, 2002. Pyramidal-horn design under constraints on half-power beamwidth, *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, 44(1), 102-108.
- [47] **Milligan, T.**, 1981. Universal patterns ease circular horn design, *Microwaves*, 20(2), 83-86.
- [48] **Milligan, T.**, 2005. Modern Antenna Design, John Wiley and Sons, New York.
- [49] **Shang, Y. and Qui, Y.**, 2006. A note on the extended Rosenbrock function, *Evolutionary Computation*, 14(1), 119-126.
- [50] **Mühlenbein, H., Schomisch, D. and Born, J.**, 1991. The parallel genetic algorithm as function optimizer, *Parallel Computing*, 17(6-7), 619-632.

## EKLER

### A. TEST FONKSİYONLARI

#### 1. Rosenbrock Fonksiyonu

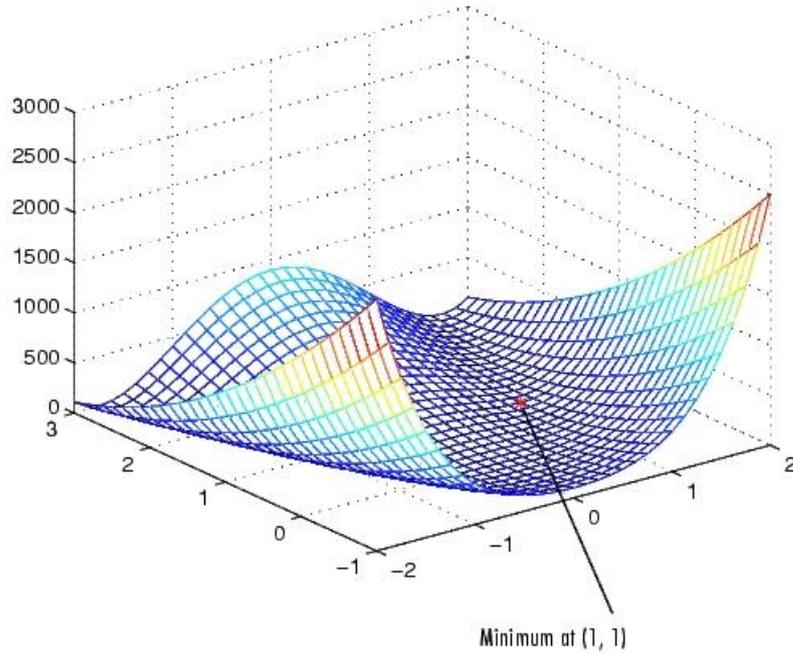
Rosenbrock'un muz fonksiyonu olarak da bilinen Rosenbrock fonksiyonu, optimizasyon algoritmalarının performanslarını test etmede kullanılan bir fonksiyondur. Orjinal denklemin global minimumu 1,1 noktasındadır ve bu noktada  $f(x, y) = 0$ 'dır. Şu şekilde tanımlanır [49]:

$$f(x, y) = 1 - x^2 + 100(y - x^2)^2 \quad (\text{A.1})$$

Fonksiyonun çok boyutlu hali ise şu şekildedir:

$$f(x) = \sum_{i=0}^{N-1} \left[ 1 - x_i^2 + 100(x_{i+1} - x_i^2)^2 \right] \quad (\text{A.2})$$

Fonksiyonun bu halinin global minimumu:  $x_1, x_2, \dots, x_n = 1, 1, \dots, 1$



Şekil A.1 Rosenbrock Fonksiyonu

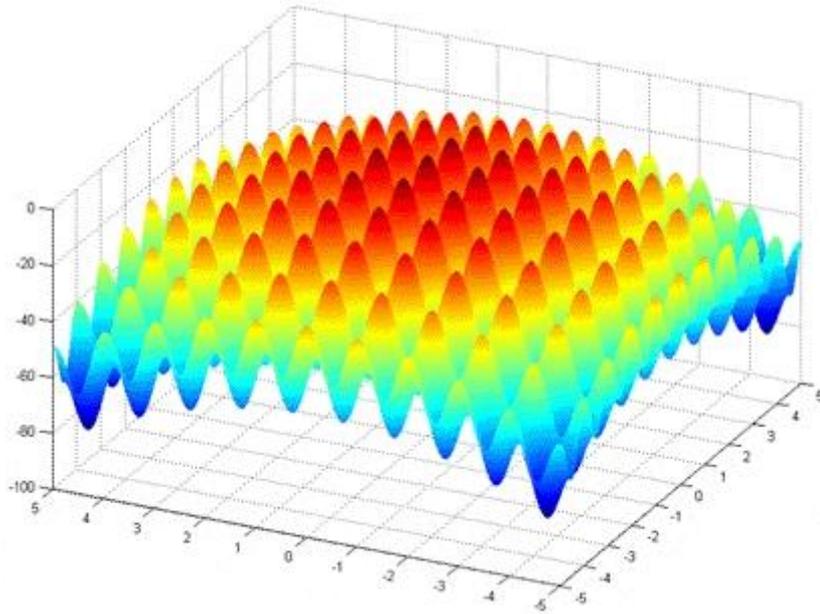
## 2. Rastrigin Fonksiyonu

Arama aralığı  $[-5.12, 5.12]$  olan iki bilinmeyen için Rastrigin fonksiyonu şu şekilde tanımlanır [50]:

$$f(x) = 20 + x_1^2 + x_2^2 - 10 \cos 2\pi x_1 + \cos 2\pi x_2 \quad (\text{B.1})$$

Fonksiyonun  $n$  bilinmeyenli hali ise şu şekildedir:

$$f(x) = 10n + \sum_{i=1}^n x_i^2 - 10 \cos 2\pi x_i \quad (\text{B.2})$$



Şekil A.2 Rastrigin Fonksiyonu

## **ÖZGEÇMİŞ**

İlke AKBULUT 1983 yılında Ankara'da doğdu. 2001 yılında Hüseyin Avni Sözen Anadolu Lisesi'nden mezun oldu ve 2006 yılında Uzay Mühendisi ünvanını İstanbul Teknik Üniversitesi'nden aldı. 2006 yılından bu yana İstanbul Teknik Üniversitesi Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi'nde Proje Mühendisi olarak görev yapmaktadır.