

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**DİKDÖRTGEN ŞEKİLLİ MİKROŞERİT ANTENLERİN FİZİKSEL
PARAMETRELERİNİN GENETİK ALGORİTMA VE PARÇACIK SÜRÜ
OPTİMİZASYONU YÖNTEMLERİYLE TAHMİNİ**

Zeynep Sıdika SEVEN

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ANKARA
2021**

Her hakkı saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DİKDÖRTGEN ŞEKİLLİ MİKROŞERİT ANTENLERİN FİZİKSEL PARAMETRELERİNİN GENETİK ALGORİTMA VE PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU YÖNTEMLERİYLE TAHMİNİ

Zeynep Sıdıka SEVEN

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Sultan CAN

Yapısal boyut, ağırlık, üretim maliyeti, basit kurulum imkânı ve hava araçlarının fiziksel yapısına uygunluk gibi özellikleri bakımından füze sistemleri, uçak, uzay aracı ve uydu sistemleri gibi alanlarda hafif profilli antenler ilgi çekmektedir. Düzlemsel ve düzlemsel olmayan yüzeylere entegre edilebilirlik, modern baskı devre teknolojileri kullanılarak basit ve ucuz olarak üretilebilirlik, sert zeminlere monte edildiğinde sistemin mekanik özelliklerini değiştirmeme gibi özellikler mikroşerit antenleri söz konusu uygulamalarda kullanılacak en uygun aday yapmaktadır. Bu çalışma kapsamında analiz ve performans tahmini karmaşık yapılara kıyasla daha net olan dikdörtgen şekilli mikroşerit antenler ele alınmaktadır. Tasarım maliyeti ile süresini en aza indirmek için son dönemlerde anten tasarım problemlerin çözümünde sıklıkla uygulanan genetik algoritma ve parçacık sürü optimizasyonu yöntemlerinden faydalanılmaktadır. Bu yöntemler çeşitli alanlarda zor, çok boyutlu süresiz problemleri optimize etmede etkili olduğu birçok çalışma ile gösterilmiştir. Tasarım parametreleri olarak çalışma frekansı, bant genişliği, besleme konumu ve giriş empedansı olarak belirlenmiştir. Bahsi geçen anten tasarım parametreleri genetik algoritma ve parçacık sürü optimizasyonu ile hesaplanmıştır. Bu hesaplamaların tümü MATLAB® programında yapılmıştır. Hesaplama bulguları literatürde bulunan diğer çalışmalar ve deneysel verilerle kıyaslanmıştır. Karşılaştırma sonucunda hesaplama bulgularının deneysel verilerle örtüştüğü görülmüştür. Optimizasyon sonrasında belirlenen parametreler kullanılarak doğrulama amaçlı anten tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan antenler CST Studio Suite® yazılımı aracılığıyla yapılan analizlerle test edilmiş, doğrulanmış ve sonuçları sunulmuştur.

Eylül 2021, 83 sayfa

Anahtar Kelimeler: Bant Genişliği, Besleme Noktası, Çalışma Frekansı, Genetik Algoritma, Giriş Empedansı, Mikroşerit Anten, Parçacık Sürü Optimizasyonu.

ABSTRACT

Master Thesis

ESTIMATION OF PHYSICAL PARAMETERS OF RECTANGULAR SHAPED MICROSTRIPT ANTENNAS VIA GENETIC ALGORITHM AND PARTICAL SWARM OPTIMIZATION METHODS

Zeynep Sıdıka SEVEN

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Electrical and Electronics Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Sultan CAN

Light-profile antennas attract attention in areas such as missile systems, aircraft, spacecraft and satellite systems due to their features such as structural size, weight, production cost, simple installation possibility and compatibility with the physical structure of aircraft. Microstrip antennas are the most suitable candidates to be used in these applications, such as integratability on planar and non-planar surfaces, simple and low cost production using modern printed circuit technologies, and not changing the mechanical properties of the system when mounted on hard floors. In this study, rectangular shaped microstrip antennas, which are clearer in analysis and performance estimation compared to complex structures, are discussed. In order to minimize the design cost and design time, genetic algorithm and particle swarm optimization methods, which are frequently applied in the solution of antenna design problems, are used recently. These methods have been shown by many studies to be effective in optimizing difficult, multidimensional discontinuous problems in various fields. The design parameters were determined as resonant frequency, bandwidth, feeding point and input impedance. The mentioned antenna design parameters were calculated using genetic algorithm and particle swarm optimization. All of these calculations were carried out in MATLAB® environment. The calculation results were compared with other studies and experimental data presented in the literature. As a result, it is seen that the calculation findings are in good agreement with the experimental results. The designed antenna has been tested, verified and the results are presented by the analyzes made through the CST Studio Suite® software.

September, 2021, 83 pages

Key Words: Bandwidth, Feeding Point, Genetic Algorithm, Input Impedance, Microstrip Antenna, Particle Swarm Optimization, Resonant Frequency.

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Çalışmalarım sırasında kıymetli bilgi, birikim ve tecrübeleri ile bana yol gösterici olan ve her takıldığım noktada beni motive ederek çalışmalarımı destekleyen çok değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Sultan CAN'a teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Yüksek lisans eğitimim süresince destek ve fikirlerini esirgemeyen kıymetli hocalarım Doç. Dr. Ökkeş Tolga ALTINÖZ ve Dr. Öğr. Üyesi Gökhan SOYSAL'a teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca aldığım tüm kararları destekleyen ve cesaretimin kaynağı olan canım babam İsmail Hakkı SEVEN'e, hayatını beni mutlu etmeye adanmış ve ilham kaynağı olan sevgili annem Serap SEVEN'e ve varlığını hayatımın en büyük hediyesi olarak kabul ettiğim kardeşim Oğuz Faik SEVEN'e teşekkürlerimi ve sevgilerimi sunarım.

Zeynep Sıdıka SEVEN
Ankara, Eylül 2021

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI

ETİK.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
ÖNSÖZ.....	iv
KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER	4
2.1 Optimizasyon Nedir?	4
2.2 Geleneksel Optimizasyon Yöntemleri	7
2.3 Modern Optimizasyon Yöntemleri.....	8
2.4 Literatürdeki Çalışmalar	11
3. MATERYAL VE YÖNTEM	17
3.1 Genetik Algoritma	17
3.1.1 Genetik algoritmanın avantajları.....	18
3.1.2 Genetik algoritmanın sınırları.....	18
3.1.3 Temel terimler.....	18
3.1.4 Genetik algoritmaların temel çalışma ilkeleri.....	21
3.2 Parçacık Sürü Optimizasyonu	36
3.2.1 Parçacık Sürü Optimizasyonun Terminolojisi	38
3.2.2 Sınır şartları	44
3.3 Mikroşerit Antenler	45
3.3.1 Besleme yöntemleri.....	48
3.3.2 Analiz yöntemleri.....	52
3.3.3 Dikdörtgen şekilli mikroşerit antenin analizi	55
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	63
4.1 Optimizasyon Sonuçları ile Anten Tasarımı	72
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	76
KAYNAKLAR	78

KISALTMALAR DİZİNİ

BW	Bant Genişliği (Band Width)
DMA	Dikdörtgen Şekli Mikroşerit Anten
EA	Evrimsel Algoritma (Evolutionary Algorithm)
EMD	Elektromanyetik Dalga
EP	Evrimsel Programlama (Evolutionary Programming)
ES	Evrimsel Stratejiler (Evolutionary Strategy)
GA	Genetik Algoritma (Genetic Algorithm)
GP	Genetik Programlama (Genetic Programming)
MOM	Momentler Yöntemi (Method of Moments)
PSO	Parçacık Sürü Optimizasyonu (Particle Swarm Optimization)
RCS	Radar Kesiti (Radar Cross Section)
RF	Radyo Frekansı (Radio Frequency)
SUS	Stokastik Evrensel Örnekleme (Stochastic Universal Sampling)
TEM	Enine Elektrik ve Manyetik (Transverse Electric and Magnetic)
VSWR	Gerilim Duran Dalga Oranı (Voltage Standing Wave Ratio)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 $f(x)$ ve $-f(x)$ fonksiyonlarının optimal çözümü.....	5
Şekil 2.2 Cebirsel işlemlerin amaç fonksiyonu üzerindeki etkisi	6
Şekil 3.1 Genetik algoritma hakkında temel terimlerin gösterimi	19
Şekil 3.2 Kodlama ve kod çözme sürecinin gösterimi.....	20
Şekil 3.3 Tipik bir genetik algoritmanın sözde kodu	22
Şekil 3.4 Genetik algoritmaların genel akış şeması	23
Şekil 3.5 İkili gösterim.....	24
Şekil 3.6 Gerçek değerli gösterim.....	25
Şekil 3.7 Permütasyon gösterimi	25
Şekil 3.8 Rulet çarkı seçimi	27
Şekil 3.9 Stokastik evrensel örnekleme seçimi.....	28
Şekil 3.10 Sıra seçimi.....	30
Şekil 3.11 Turnuva seçimi	31
Şekil 3.12 Tek noktalı çaprazlama	32
Şekil 3.13 Çok Noktalı çaprazlama işlemi.....	33
Şekil 3.14 Bit tersleme mutasyonu işlemi.....	33
Şekil 3.15 Değişim mutasyonu işlemi.....	34
Şekil 3.16 Uygunluğa dayalı seçim işlemi.....	35
Şekil 3.17 Yaş bazında seçim işlemi.....	36
Şekil 3.18 Yüksek yoğunluklu yere doğru hareket eden arılar	37
Şekil 3.19 En yüksek yoğunluğa toplanan arılar.....	38
Şekil 3.20 Parçacık sürü optimizasyonunun akış şeması.....	40
Şekil 3.21 Parçacık sürü optimizasyonunun sözde kodu	41
Şekil 3.22 Bireysel parçacıkların hareketinin gösterimi	42
Şekil 3.23 Parçacıkların Sınır Davranışları.....	44
Şekil 3.24 Dikdörtgen şekilli mikroşerit anten	46
Şekil 3.25 Çeşitli şekillerde mikroşerit antenler (Balanis 2015)	46
Şekil 3.26 Mikroşerit hat besleme.....	48
Şekil 3.27 Koaksiyel (Eşksenli) besleme	50
Şekil 3.28 Sandviç tekniği ile besleme	51

Şekil 3.29 Yarık hat ile toprak düzleminden besleme.....	52
Şekil 3.30 Mikroşerit hat geometrisi.....	53
Şekil 3.31 Elektrik alan çizgilerinin bozunumu.....	53
Şekil 3.32 Boşluk yönteminin geometrisi.....	54
Şekil 4.1 Genetik algoritma iterasyon grafikleri (Anten 1-9).....	69
Şekil 4.2 Genetik algoritma iterasyon grafikleri (Anten 10-17).....	70
Şekil 4.3 Parçacık sürü optimizasyonu iterasyon grafikleri (Anten 1-9).....	70
Şekil 4.4 Parçacık sürü optimizasyonu iterasyon grafikleri (Anten 10-17).....	71
Şekil 4.5 Anten 3 tasarım görüntüsü.....	72
Şekil 4.6 Anten 3 besleme noktası 1.....	73
Şekil 4.7 Anten 3 besleme noktası 2.....	73
Şekil 4.8 Tasarlanan Anten 3'e ait S_{11} grafiği.....	74
Şekil 4.9 Tasarlanan Anten 3'e ait uzak alan grafiği.....	74
Şekil 4.10 Tasarlanan Anten 3'e ait yüzey akımları grafiği.....	75

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Optimizasyon yöntemlerinin sınıflandırılması	7
Çizelge 3.1 Sıra seçim parametreleri	29
Çizelge 4.1 f_r' 'nin GA ile optimizasyon sonuçları	63
Çizelge 4.2 Çalışma frekansının PSO ile optimizasyon sonuçları	64
Çizelge 4.3 Literatürde hesaplanan değerler ve hesaplama sonuçları.....	65
Çizelge 4.4 Bant genişliğinin GA ile optimizasyonu.....	66
Çizelge 4.5 Bant genişliğinin PSO ile optimizasyonu	67
Çizelge 4.6 Besleme noktasının ve giriş empedansının GA ile optimizasyonu.....	68
Çizelge 4.7 Besleme noktasının ve giriş empedansının PSO ile optimizasyonu	69

1. GİRİŞ

Kablosuz sistemler arasında iletişim için kullanılan ana bileşen antendir. Mikroşerit antenler ise düşük maliyetli ve küçük boyutlu mikrodalga antenleridir. Yapısal boyut, ağırlık, üretim maliyeti, basit kurulum imkânı ve hava araçlarının fiziksel yapısına uygunluk gibi özellikleri vasıtası ile füze sistemleri, uçak, uzay aracı ve uydu sistemleri gibi alanlarda hafif profilli antenler ilgi çekmektedir (Balanis 2015). Askeri uygulamalarda kullanılacak anten yapılarının küçük boyutlu ve düşük ağırlıklı olması gerekmektedir. Ayrıca, bu yapıların entegre edildiği düzlem için entegrasyon sorunu çıkartmadan yüzeylere uyumlandırılmaları önem arz etmektedir. Dahası aktif ve pasif devreler ile entegrasyonu da kolay olmalıdır ve tasarım parametrelerinin bağımsız biçimde kontrol edilmesi mümkün olmalıdır. Bu ihtiyaçlar doğrultusunda düzlemsel ve düzlemsel olmayan yüzeylere entegre edilebilirlik, modern baskı devre teknolojileri kullanılarak kolay ve düşük maliyetli olarak üretilebilirlik, sert zeminlere monte edildiğinde sistemin mekanik özelliklerini değiştirmeme gibi özellikler mikroşerit antenleri söz konusu uygulama alanlarında kullanılacak en uygun aday yapmaktadır (Yazgan 1987). Sundukları bu avantajlardan dolayı mikroşerit antenler birçok farklı uygulamada kullanılmaktadır ve akademik araştırmalarda güncelliğini korumaktadır.

Mikroşerit anten tasarımı uzun yıllardır birçok farklı araştırmacı tarafından yapılmaktadır (Akdağlı 2007). Bu araştırmalar neticesinde elde edilen denklemleri analitik olarak çözüme kavuşturmak mümkün değildir. Analitik yöntemlerle çözülemeyen ifadelerin nümerik yöntemlerle çözülmesi zaman kaybına ve nümerik yaklaşım hatalarına sebep olmaktadır. Hedeflenen anten yapısını elde edebilmek için tasarım parametrelerin kısa süre zarfında etkili ve doğru biçimde hesaplanması önem sarf etmektedir. Tasarım sürecinde yaşanacak aksaklıklar ve zaman kaybı maliyet artışına neden olacaktır. Bu sebeple farklı çözüm yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yöntemlerden biri tam dalga çözücülerdir (full-wave solver). Ancak bu çözücüler yüksek maliyetlidir ve çözüm için harcanan zaman oldukça fazladır. Diğer bir yöntem ise yapay zekâ uygulamalarıdır (Güney vd. 2002). Yapay zekâ uygulamaları için veri setlerine ihtiyaç duyulur. Çözüme ihtiyaç duyulan problemler için her zaman bir veri seti varlığından söz edilemeyebilir. Yukarıda sayılan çözüm yöntemlerine alternatif

olarak anten parametrelerinin belirlenmesinde mühendislik problemlerinin çözümünde sıklıkla kullanılan optimizasyon algoritmalarından Genetik Algoritma ve Parçacık Sürü Optimizasyonu yöntemleri kullanılmaktadır. Optimizasyon algoritmaları temel olarak bir tasarım problemini en uygun biçimde çözmek için sezgisel veya deterministik yöntemler kullanarak belirlenen arama uzayında optimum değerlere kısa sürede ulaşmayı amaçlamaktadır.

Bu tez kapsamında analiz ve performans tahmini karmaşık yapılara kıyasla daha net olan dikdörtgen şekilli mikroşerit antenler ele alınmaktadır. Tasarım maliyetini ve süresini en aza indirmek için optimizasyon algoritmalarından faydalanılmaktadır. Tasarım parametreleri olarak çalışma frekansı, bant genişliği, besleme konumu ve giriş empedansı olarak belirlenmiştir.

Her anten uygulamasında olduğu gibi dikdörtgen şekilli mikroşerit antenlerde de en önemli anten performans parametresi çalışma frekansıdır (Akdağlı 2007). Bu parametrenin tasarım aşamasında yüksek doğrulukta öngörülmesi olası parazitik etkiyi engellemesi açısından büyük önem taşımaktadır (Güney vd. 2002). Tasarım sırasında göz önünde bulundurulması gereken diğer bir performans parametresi bant genişliğidir. Mikroşerit antenler diğer antenlere kıyasla düşük bant genişliğine sahiptir (Balanis 2015). Bu sebeple özellikle mikroşerit antenlerde tasarlanan antenin bant genişliğinin yüksek doğrulukta öngörülebilmesi daha da kritik hale gelmektedir. Ayrıca mikroşerit antenlerin ışıma verimliliğini ve geri dönüş kaybını etkileyen giriş empedansının da tasarım esnasında dikkate alınması gerekir. Antenin istenilen giriş empedans değerini vermesi için uygun besleme konumu hassas olarak hesaplanmalıdır. Tüm mikroşerit antenlerde çalışma frekansı, bant genişliği ve giriş empedansı gibi performans parametreleri ışıma yapan yamanın genişliğine, uzunluğuna ve besleme noktasının konumuna bağlı olduğu gibi dielektrik malzeme olarak kullanılan malzemenin elektriksel geçirgenliği de bu performans parametrelerini doğrudan etkiler (Kara 1996). Dolayısıyla anten performans parametrelerinin istenilen değerde olması için iletken yamanın fiziksel ve elektromanyetik özelliklerinin doğru seçilmesi gerekir.

Bu tezin kapsamında bahsi geçen fiziksel anten parametreleri genetik algoritma (GA) ve parçacık sürü optimizasyonu (PSO) yöntemleriyle optimize edilerek çalışma frekansının, bant genişliğinin ve giriş empedansının doğru şekilde belirlenmesi

hedeflenmiştir. Bu yöntemler anten tasarımında kullanılan diğer yöntemlere kıyasla kısa sürede sonuca yakınsamaktadır. Ayrıca optimizasyon için bir veri setine ihtiyaç duyulmamaktadır ve bellek gereksinimi oldukça azdır. Bu iki yöntem ve probleme uygulanış şekilleri materyal ve yöntem bölümünde ayrıntılı olarak irdelenmiştir. Optimizasyon sonucunda elde edilen antenlerin performans parametreleri CST Studio Suite® yazılımında doğrulanmıştır.



2. KURAMSAL TEMELLER

Deschamps mikroşerit yapıları antene dönüştürme fikrini ilk kez 1953 yılında sunmuştur (Deschamps 1953). İlk patent ise Gutton ve Baissinot 1955 yılında alınmış olmasına karşın 1970'li yıllara kadar uygulamalarda kullanılabilecek bir anten üretilmemiştir.

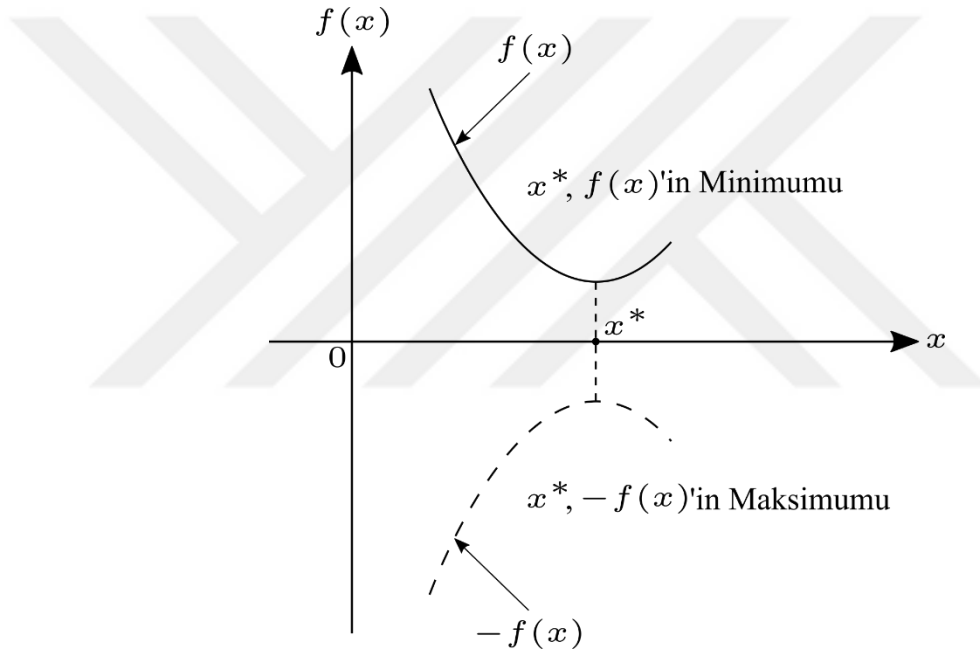
Malzeme teknolojisinin ilerlemesi sonucunda düşük kayıplı, mekanik ve ısıl dayanımı yüksek dielektrik malzemelerin geliştirilmesi üzerine ilk mikroşerit antenler Munson (1974) ve Howell (1975) tarafından üretilmiştir. Bu antenlerin ince ve tespit edildikleri yüzeylerle uyumlu yapıları sayesinde uzay mekikleri ve füze sistemlerinde kullanılmıştır. Mikroşerit antenlerin üretim maliyetlerinin az oluşu ve üretimlerinin diğer anten türlerine nispeten kolay olması, küçük yüzeye sahip olmaları, çift çalışma frekansı, bütünleşmiş mikrodalga devreler ile uyum içinde çalışma gibi avantajları sebebiyle bu konuya olan ilgi ve bu konudaki çalışmalar oldukça artmıştır (Bahl ve Bartia 1980). Bunun sonucunda 80'li ve 90'lı yıllarda mikroşerit anten teorisi ve üretimi çok hızlı gelişim göstermiştir. Teoride elde edilen kapalı formül ifadeleri içeren birçok yayın ve deneysel sonuçlara odaklı çalışma yapılmıştır. 2000'li yıllardan günümüze kadar uzanan süreçte ise bu kapalı ifadeler ile deneysel veriler arasında bulunan farklılıklar optimizasyon algoritmaları ile giderilmeye çalışılmıştır.

2.1 Optimizasyon Nedir?

Optimizasyon, belirli koşullar altında en uygun sonucu elde etme eylemi olarak tanımlanabilir. Herhangi bir mühendislik sisteminin tasarımında, üretiminde ve bakımında, mühendislerin birçok teknolojik ve yönetsel karar alması gerekir. Bu tür kararların nihai amacı, gereken tasarım ve üretim çabasını en aza indirmektir. Herhangi bir pratik durumda gerekli çaba veya istenen fayda belirli karar değişkenlerinin bir fonksiyonu olarak ifade edildiğinde, bu fonksiyonun maksimum veya minimum değerini veren karar değişkenlerini bulma işlemi olarak tanımlanabilir. Diğer bir deyişle optimizasyonun amacı, belirli kısıtlamalara tabi olan amaç fonksiyonlarını maksimize

veya minimize eden değişkenleri bulmaktır (Van den Bergh 2002). Bu işlem sonucunda elde edilen ve tüm kısıtları sağlayan çözümler uygulanabilir çözüm olarak adlandırılır ve uygulanabilir çözüm kümesinde en iyi amaç fonksiyonu değerine sahip çözüm ise optimal çözüm olur (Rardin 1998).

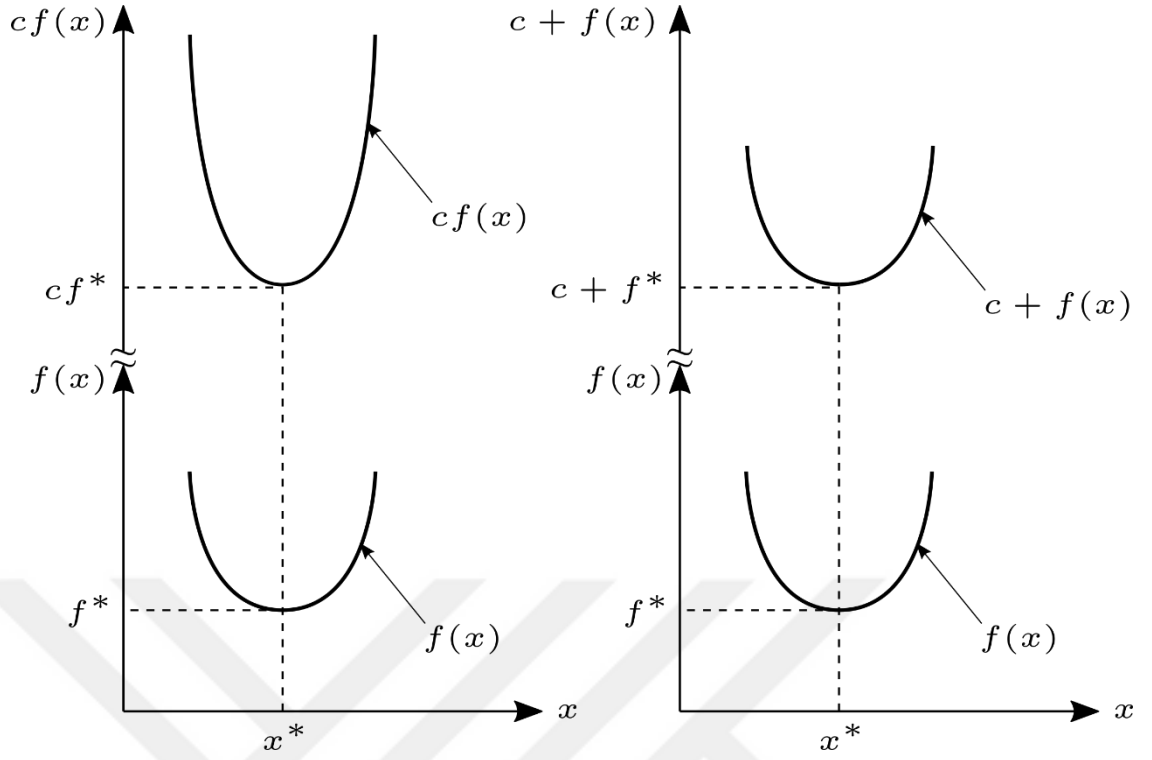
Şekil 2.1'den, bir x^* noktası $f(x)$ fonksiyonunun minimum değerine karşılık gelirse, aynı nokta aynı zamanda fonksiyonun negatifinin ($-f(x)$) maksimum değerine karşılık gelir. Bu sebeple optimizasyon, formülasyonun gerektirdiği şekilde minimize etmek ya da maksimize etmek olarak ele alınabilir.



Şekil 2.1 $f(x)$ ve $-f(x)$ fonksiyonlarının optimal çözümü

Ayrıca, Şekil 2.2'de verilen cebirsel işlemlerin amaç fonksiyonu üzerinde uygulanması amaç fonksiyonunun şeklini değiştirse de optimal sonucu etkilemeyecektir:

- $f(x)$ 'in pozitif sabit c ile çarpılması (veya bölünmesi).
- Pozitif sabit c 'nin $f(x)$ 'e eklenmesi (veya çıkarılması).



Şekil 2.2 Cebirsel işlemlerin amaç fonksiyonu üzerindeki etkisi

Tüm optimizasyon problemlerini verimli bir şekilde çözmek için tek bir yöntem tanımlamak olanaksızdır. Bu nedenle, farklı türdeki optimizasyon problemlerini çözmek için bir çok farklı optimizasyon yöntemi geliştirilmiştir. Optimizasyon yöntemleri, matematiksel programlama teknikleri olarak da bilinir ve genellikle yöneylem araştırmasının bir parçası olarak incelenir. Yöneylem araştırması, bilimsel yöntem ve tekniklerin karar verme problemlerine uygulanması ve en iyi veya en uygun çözümlerin oluşturulmasıyla ilgilenen bir matematik dalıdır. Optimizasyon alanındaki araştırmalar çok aktiftir ve düzenli olarak yeni optimizasyon yöntemleri geliştirilmektedir (Chinneck 2000).

Çizelge 2.1’de çeşitli matematiksel programlama yöntemleri genel hatlarıyla listelenmektedir.

Çizelge 2.1 Optimizasyon yöntemlerinin sınıflandırılması

Optimizasyon Yöntemlerinin Genel Sınıflandırılması			
Matematiksel Programlama - Optimizasyon Yöntemleri	Stokastik Yöntemler	İstatistiksel Yöntemler	Modern-Geleneksel Olmayan Yöntemler
Hesaplama Yöntemi	İstatistik Karar Teorisi	Regresyon Analizi	Genetik Algoritma
Doğrusal - Olmayan Programlama	Markow Analizi	Faktör Analizi	Karıncı Kolonisi Optimizasyonu
Geometrik Programlama	Kuyruk Teorisi	Kümeleme Analizi	Parçacık Sürü Optimizasyonu
Kuadratik Programlama	Yenilenme Teorisi		Bulanık Mantık
Doğrusal Programlama	Benzetim Yöntemi		Yapay Sinir Ağları
Dinamik Programlama	Güvenilirlik Teorisi		
Stokastik Programlama			
Çok Amaçlı Programlama			
Oyun Teorisi			

2.2 Geleneksel Optimizasyon Yöntemleri

Geleneksel optimizasyon algoritmaları, en iyi çözümü bulmak için rastsal olmayan (deterministik) yöntemler kullanır. Bu yöntemlerin formülasyonunda ana kabul problemin çözümünün olduğudur ve algoritmalar bu çözüme yaklaşacak şekilde tasarlanır. Algoritmanın arama alanındaki her çözümü denediği ve böylece küresel optimal çözümün bulunmasının garanti edildiği kapsamlı bir arama mevcuttur ve arama alanı arttıkça geleneksel algoritmaların maliyeti artar. Bu nedenle, geleneksel optimizasyon algoritmaları karmaşık problemler (NP-hard) olarak bilinen problemler sınıfını çözmek için yeterli değildir.

Geleneksel optimizasyon araçlarının başlıca dezavantajları aşağıdaki şekilde sıralanabilir (Pratihari 2008):

- Nihai çözüm, başlangıçta seçilen rastgele çözüme bağlıdır. Elde edilen çözümün küresel olarak en uygun çözüm olmasının kesinliği yoktur.

- Süreksiz amaç fonksiyonlarını içeren optimizasyon problemleri, gradiyent tabanlı yöntemler kullanılarak çözülemez. Ayrıca, gradiyent temelli yöntemlerin çözümleri yerel optimum noktalarda takılıp kalabilir.
- Belirli bir geleneksel optimizasyon yöntemi, yalnızca bir tür problemi çözmek için uygundur. Bu nedenle, farklı problemleri çözmek için kullanılabilecek çok yönlü bir geleneksel optimizasyon yöntemi yoktur.

2.3 Modern Optimizasyon Yöntemleri

Geleneksel olmayan optimizasyon yöntemleri olarak da adlandırılan modern optimizasyon yöntemleri, son yıllarda karmaşık optimizasyon problemlerini çözmek için güçlü ve popüler yöntemler olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu yöntemlerin en yaygın kullanılanları arasında genetik algoritma (GA), benzetilmiş tavlama, parçacık sürü optimizasyonu (PSO), karınca kolonisi optimizasyonu, sinir ağı tabanlı optimizasyon ve bulanık optimizasyon sayılabilir. İsimlerinden de anlaşılacağı gibi modern optimizasyon yöntemleri doğada karşımıza çıkan doğal olayların veya canlı davranışlarının bir olayı meydana getirirken veya bir görevi tamamlarken iyilime faaliyetlerinin hesaplamaya dökülmüş halidir. Bu kısımda sadece bu teze konu olan evrimsel ve sürü zekâsı temelli optimizasyon algoritmaları hakkında genel bilgiler verilecektir.

Evrimsel algoritmalar (EA), biyolojik dünyada doğal seçilimi ve evrimi temel alarak oluşturulan genel amaçlı stokastik arama yöntemleridir. Evrimsel algoritmalara ilham kaynağı olarak popülasyon genetiği, popülasyon ekolojisi ve gelişimsel biyoloji gösterilebilir. Genel olarak, tüm EA'lar birbirlerine benzer şekilde çalışır. Optimizasyonun ilk aşamasında her bireyin mevcut soruna potansiyel bir çözümü temsil ettiği bir popülasyon oluşturulur. Her bir çözümün uygunluğu bir amaç fonksiyonuna göre değerlendirilir. Mevcut popülasyonu geliştirmek için EA'lar her nesilde belirli bir seçim süreci uygular. Seçim süreci basitçe popülasyona dâhil edilecek bireylerin uygunluklarının değerlendirilmesi olarak tanımlanabilir. Bireyler, çeşitliliği artırmak için genellikle evrimsel süreçten ilham alınarak tasarlanan evrimsel operatörle

değiştirilir. Bu tür algoritmalarda en sık kullanılan iki evrimsel operatör aşağıda verilmiştir:

- Tekli Dönüşüm (Mutasyon): Yeni bir birey oluşturmak için mevcut bir birey üzerinde küçük ve rastgele bir değişiklik yapma işlemidir (Michalewicz 2013). Bu operatör, bireylerin biner gösterimle ifade edildiği durumlarda rastgele seçilen bir biner basamağın değerini ters çevirerek veya reel sayı ile ifade edildiği durumlarda rastgele seçilen değişkenlere küçük ve rastgele bir reel sayı ekleyerek (veya çıkararak) yapılabilir. Mutasyonun temel amacı, yerel bir optimuma takılmamak için popülasyona daha fazla genetik materyal ekleyerek çeşitliliği arttırmaktır.
- Yüksek Dereceli Dönüşüm (Çaprazlama): İki veya daha fazla bireyi oluşturan değişken değerlerinin rastgele örneklenmesi ve yeni bir birey oluşturmak için tekrar bir araya getirilmesi çaprazlama (cross-over) olarak adlandırılır. Çaprazlamanın temel amacı yeni arama alanları keşfetmektir, fakat mutasyondan farklı olarak mevcut iyi bireyler bu operasyonda kullanıldığından oluşacak yeni bireylerin de iyi sonuç verme olasılığı yükselmiş olur (Salman 1999).

EA'lar için yukarıda tanımlanan çözüm aşamaları algoritma belirli bir durdurma ölçütüne erişinceye kadar tekrar edilir ve bulunan en iyi çözümün, optimuma yakın bir çözüm olması beklenir. Nüfusa dayalı doğası nedeniyle, EA'lar çözüm esnasında yerel bir optimumda takılı kalmaktan kaçınılabilir ve bu özelliği nedeniyle küresel optimal çözümleri bulabilir. Bu nedenle, EA'lar küresel optimizasyon algoritmaları olarak düşünülebilir. Fakat, EA'ların global bir optimuma yakınsamada başarısız olma ihtimalleri de söz konusudur (Gray vd. 1997).

Evrimsel algoritmaların en yaygın örneği doğal seçilim mekaniğine dayanan genetik algoritmalarıdır (GA). GA seçilim mekaniğine dayanan bilgisayar tabanlı bir çeşit arama ve optimizasyon algoritmasıdır. GA ilk olarak 1975 yılında John Holland tarafından önerilmiştir. Holland tarafından geliştirilen orijinal GA tek geçişi kullanmasına rağmen, GA'ların odağı hem mutasyon hem de çapraz geçiş kullanan genetik evrim üzerine kaymıştır (Goldberg 1989). Günümüzde ise çoğunlukla genel çok değişkenli karmaşık optimizasyon problemlerini çözmek için kullanılmaktadır.

GA'nın doğal seçim ve evrimi ilke edinmiş güçlü stokastik arama yönteminin karmaşık ve tümleşik problemleri çözmeye başarılı olduğu birçok çalışma ile tescillenmiştir. Modern elektromanyetik teorinin uygulamalarında karşılaşılan radyasyon ve saçılma problemleri de bu tür karmaşık problemler sınıfına girer ve çoğu zaman tasarım aşamasında modern optimizasyon yöntemlerinin kullanılması gerekir. Optimizasyon gerektiren tipik problemler arasında anten tasarımı, hedef görüntü işleme, düşük radar kesiti için anti-yansıtıcı kaplama tasarımı bulunmaktadır. Anten dizisi huzme modeli şekillendirme gibi diğer problemler, optimizasyon olmadan çözülebilirken, özellikle imalatla alakalı problemlerde ve çevresel faktörler tarafından oluşturulan kısıtlar içeren tasarım problemlerinde optimizasyon algoritmaları kullanılarak bu problemler daha iyi ele alınabilmektedir. Genetik algoritmanın elektromanyetik problemlere uygulanması Johnson ve Rahmat-Samii'nin çalışmaları ile başlamıştır (Johnson 1996).

Sürü zekâsı temelli algoritmalar doğada gözlenen kolektif zekâ örneklerinden esinlenerek tasarlanan hesaplama yöntemleridir. Örnekler arasında balık sürüleri, kuş sürüleri ve karınca kolonileri sayılabilir. Kolektif zekâ çevredeki çok sayıda birey işbirliği ile ortak bir sorunu birbirleriyle etkili bir biçimde haberleşerek çözerken ortaya çıkar. Doğada, bunun örneğini yaygın olarak verimli yiyecek arama, avlanma veya sürülerin ve kolonilerin yeniden konumlandırılması gibi problemlerin çözümünde gözlemleriz. Bireyler arasındaki haberleşme karıncalarda feromon kullanımı, arılarda dans etme ve balıklarda ve kuşlarda yakınlık yoluyla, çevrenin kendisinde saklanır veya iletilir. Evrimsel hesaplama gibi, sürü zekâsı algoritmaları veya stratejileri de geleneksel optimizasyon algoritmalarının aksine çok çeşitli problemlere uyarlanabilir stratejiler olarak kabul edilir ve genellikle arama ve optimizasyon alanlarında yaygın olarak kullanılır (Brownlee 2011). Sürü zekâsı temelli algoritmaların günümüzde en yaygın kullanılanı parçacık sürüsü optimizasyonudur. PSO, böcek kolonileri (örneğin, karıncalar, termitler, arılar ve eşek arıları), kuş sürüleri ve balık sürüleri gibi toplu hareket eden ve hareketlerini birbirleri arasındaki sosyal etkileşime göre düzenleyen canlıların davranışlarını temel alarak tasarlanan popülasyon tabanlı bir stokastik optimizasyon algoritmasıdır (Kennedy ve Eberhart 1995). Algoritma ilk olarak 1995 yılında Kennedy ve Eberhart tarafından önerilmiştir. PSO, popülasyon temelli olması ve her bireyin uygunluğunun bir amaç fonksiyonuna göre değerlendirilmesi açısından

EA'larla benzerlik gösterir. Ayrıca, PSO'daki iyi bireylerin seçilmesi, EA'larda kullanılan çaprazlama operatörüne nispeten benzerdir (Coello ve Lechuga 2002). Bununla birlikte, EA'ların aksine en uygun olanın hayatta kalmasından çok PSO'da tüm bireylerin sosyal davranışından yararlanır (Shi ve Eberhart 2001). EA'lardan farklı olan diğer bir unsur, PSO'da her bir bireyin kendi geçmişinden faydalanmasıdır (Coello Coello ve Lechuga 2002). PSO'nun uygulanması kolaydır ve nispeten kolay olan sürekli ve doğrusal problemlerin yanında süreksiz ve doğrusal olmayan çok çeşitli problemlerin de optimizasyonunda başarıyla uygulanmıştır (Kennedy ve Eberhart 2001). PSO'nun elektromanyetik problemlere uygulanması ve anten tasarım konusuna dâhil edilmesi ise Robinson ve Rahmat-Samii'nin çalışmaları ile başlamıştır (Robinson 2002). Ayrıca, sürülerin hareketine ve zekâsına dayanan bu yeni stokastik hesaplama tekniğinin, bazı durumlarda genetik algoritmalar gibi diğer optimizasyon yöntemlerinden daha iyi performans gösterdiği gösterilmiştir (Kennedy ve Spears 1998).

2.4 Literatürdeki Çalışmalar

Bu kısımda genetik algoritma veya parçacık sürü optimizasyonu kullanılarak mikroşerit anten tasarımını konu alan başarılı literatür çalışmaları özetlenmiştir.

Yılmaz ve Kuzuoğlu, dikdörtgen mikroşerit antenlerin optimize edilmiş uzunluk ve genişliğini hesaplamak için parçacık sürü optimizasyonunu uygulamıştır. Problemin girdileri, istenen çalışma frekansı ile birlikte dielektrik sabiti ve alt taş kalınlığıdır; çıktılar ise optimize edilmiş yama uzunluğu ve genişliğidir. Optimize edilen antenler ince yapıda antenlerdir. Elde edilen hesaplama sonuçları literatürdeki deneysel ve diğer sezgisel yöntemlerle hesaplanmış sonuçlarla uyumludur. Çalışma frekansı ve alt taşın özellikleri göz önüne alındığında, optimum mikroşerit antenlerin boyutlarını hesaplama büyük hesap yüküne sahip bir işlemdir. Çalışmada sunulduğu üzere, parçacık sürü optimizasyonu kullanılarak bu işlemin fazla hesaplama süresi olmadan gerçekleştirilebilir olduğu gösterilmiştir. Ayrıca, PSO kullanılarak geliştirilen kodu doğrulamak için yedi anten optimize edilmiştir. PSO'dan elde edilen sonuçları karşılaştırmak ve doğrulamak için analitik ve deneysel veriler kullanılmıştır ve çalışmanın sonuçları literatürdeki benzer çalışmalarla da uyumludur. Dolayısıyla, bu

problem için PSO uygulaması doğru ve basit bir yöntem olarak görülmektedir. Bu, özellikle gerekli çalışma frekansını elde etmek için hem uzunluğun hem de genişliğin aynı anda ayarlanacağı mikroşerit anten sistem tasarımlarının kolaylaştırılmasına katkıda bulunabilir. Sonuç olarak, bu çalışma, PSO'nun aynı problemin varyasyonlarına veya benzer problemlere uygulanabilirliğini göstermiştir (Yılmaz ve Kuzuoğlu 2007). Bu çalışmada anten çalışma parametrelerinde biri olan çalışma frekansı optimizasyon yöntemi ile belirlenmiştir, diğer çalışma parametreleri çalışmaya dahil edilmemiştir.

Pattnaik ve çalışma arkadaşları, dikdörtgen mikroşerit antenlerin optimize edilmiş uzunluk ve genişliğini hesaplamak için genetik algoritma (GA) kullanmışlardır. Problemin girdileri, istenen çalışma frekansı, dielektrik sabiti ve alt taş kalınlığıdır; çıktılar, optimize edilmiş uzunluk ve genişliktir. Momentler yöntemi (MoM) tabanlı IE3D yazılımı ve deneysel sonuçlar, genetik algoritmanın ulaştığı sonuçları doğrulamak için kullanılmıştır. GA ile hesaplanan uzunluk ve genişlik değerleri deneysel sonuçlarla uyumludur. Anten tasarımında istenen çalışma frekansını verecek yama uzunluk ve genişlik değerlerini hesaplamak için mikroşerit antenin uzunluk ve genişliğinin eşzamanlı varyasyonunu kullanmak hesaplama açısından sıkıcı ve zaman alıcı bir işlemdir. Bu çalışmanın sonuçlarında görüldüğü üzere, GA kullanılarak bu işlem fazla hesaplama süresi gerektirmeden tamamlanabilir. Bu çalışmada GA kullanılarak geliştirilen kodu doğrulamak için yedi anten optimize edilmiştir. GA ile elde edilen sonuçları karşılaştırmak ve doğrulamak için IE3D yazılımı ve deneysel sonuçlar kullanılmıştır. İki anten için dönüş-kayıp ve VSWR grafiklerinin IE3D yazılımında benzetimi yapılmıştır. Bu grafiklerden elde edilen sonuçlar da deneysel sonuçlarla iyi bir uyum içindedir. Dolayısıyla, mikroşerit antenlerin tasarımında optimal uzunluk ve genişliğin hesaplanması için GA'nın kullanılması, doğru ve basit bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu, özellikle boyut sınırlamaları altında, gerekli çalışma frekansını elde etmek için hem uzunluk hem de genişliğin aynı anda ayarlanacağı yama anten sistemleri tasarımında GA'nın güçlü bir hesaplama aracı olduğunu göstermiştir (Pattnaik vd. 2003). Bu çalışmada da bir önceki çalışmada olduğu gibi anten çalışma parametrelerinde biri olan çalışma frekansı optimizasyon yöntemi ile belirlenmiştir, diğer çalışma parametreleri çalışmaya dahil edilmemiştir.

Sudhakaran ve arkadaşları mikroşerit antenlerde yama boyutunun yanı sıra yapısını da optimize eden evrimsel hesaplama tabanlı bir optimizasyon algoritması uyarlamışlardır.

Burada, algoritmayı kullanarak anten elemanının yayılan yapısının inşası için birim kare bir $\lambda/8$ yaması varsayarak, anteni 2.45 GHz'de çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Bu çalışmanın ana sonucu, evrimsel algoritma sonucunun RF Benzetimi ile ara yüzlenerek onu tam otomatik bir yinelemeli sistem haline getirmesidir. Performanslar geleneksel yama ile karşılaştırılmış ve algoritma tabanlı yama anteninin daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Geleneksel tasarım yöntemleri kompaktlık ve yüksek kazanç elde etmek için çeşitli kısıtlamalardan dolayı yetersizdir. Geleneksel optimizasyon teknikleri tek başına boyutları optimize eder, ancak evrimsel algoritmalar boyutları olduğu kadar yapıları da optimize edebilir. Evrimsel algoritmalarla sınırlı bir süre içinde yüzlerce geleneksel olmayan yapı geliştirilmiştir. Geliştirilen farklı yapılar incelenmiş ve performanslar analizleri yapılmıştır. Küçük antenler için yüksek kazanç ve yansımaya katsayısına ulaşmanın zor olduğu bulunmuştur. Büyük yama antenler, kazanç ve yansımaya katsayısı için iyi sonuçlar elde edilmiştir. Optimizasyonun amaçları kazanç ve küçüklüktür. Geleneksel bir yama anteni ile giriş eşleştirme ve kazanç performansı için karşılaştırmalı bir çalışma yapılmış ve algoritmadan evrimleşen yapıların daha iyi performans gösterdiği tespit edilmiştir. Algoritmanın, doğru olması için daha fazla uygunluk parametresi eklenerek daha da geliştirilebilir olduğu gösterilmiştir. Ayrıca, birim yapısının boyutunun küçültülmesinin yapısal optimizasyonu ve performansı daha da iyileştirdiği bulunmuştur (Sudhakaran vd. 2017).

Bu yazıda Kim ve arkadaşları, herhangi bir boyuttaki ve herhangi bir alt tabaka kalınlığındaki dikdörtgen mikroşerit anteninin çalışma frekansı, besleme noktasını doğru bir şekilde hesaplamak için geliştirilmiş standart denklemle birlikte Parçacık Sürü Optimizasyonu tekniğini uygulamak için yeni bir teknik geliştirilmiştir. Bu teknik, çalışma frekansı, besleme noktası vb., gibi mikroşerit anten parametrelerini hesaplamak için genelleştirilmiş bir yumuşak hesaplama aracı gibi görünmektedir. Mikroşerit yama antenleri çeşitli yöntemlerle beslenebilir. Burada kullanılan en popüler dört besleme tekniğini incelenmiştir ve bu teknikler mikroşerit hattı, koaksiyel (eşeksenli) prob (sonda), açıklık bağlantısı ve yakınlık bağlantısıdır. Bir mobil iletişim sisteminde mobil iletişim için mikroşerit anten kullanılması gerektiğinde, antenin çalışma frekansı 2.4 GHz, çalışmada kullanılan altlığın dielektrik sabiti 2.45 ve dielektrik yüksekliği 1.58 mm olarak seçilmiş ve simülasyon gerçekleştirilmiştir. Benzetim sonucunda antenin besleme derinliği -27 dB'de 13.2 mm olarak bulunmuştur. Antenin geri dönüş kaybına

gelince, 2.2 GHz'den 3.5 GHz'e VSWR, geniş bant özelliği gösteren 3 veya daha az bir frekans aralığı gösterilmiştir. Bulunan sonuçlar mobil iletişim için uygundur. Bu nedenle, bu çalışmada sunulan IE3D aracılığıyla PSO algoritmasını kullanan mobil iletişim için mikroşerit anten tasarımı için uygundur. Ayrıca gelecekte mikroşerit antenlerin üretimine uygulanacağı yargısına varılmıştır ve MIMO veya akıllı antenlere uygulanacağını düşünülmüştür. Sonuç itibarıyla mobil iletişim için tasarlanan mikroşerit anteni, imalatta kullanışlı ve geniş bant özelliklerine sahip olduğundan, gelecekte geliştirilecek akıllı telefonlar için anten elemanlarının imalatında kullanılması mümkün olacaktır (Kim vd. 2013).

Chandran ve Viswasom çalışmalarında geliştirilmiş bant genişliği ve kazancı olan yeni bir oluklu mikroşerit anten önerilmiştir. Bant genişliğini arttırmanın bir yöntemi olarak, yama yüzeyine dikdörtgen ve fraktal U şeklinde olmak üzere iki tür yuva uygulanmıştır. Zemin düzleminde silindirik bir yuvanın kesilmesiyle kazanç da iyileştirilmiştir. Genetik algoritma, mikroşerit antenin kazancını ve bant genişliğini optimize etmek için olarak kullanılır. Optimizasyon 1.6 GHz frekansında gerçekleştirilmiştir. Optimum tasarımı ve sonuçları araştırmak için yüksek frekanslı yapı simülasyonu (HFSS) Yazılımı kullanılmıştır. Neredeyse %18.6'lık bir kazanç artışı ve yaklaşık %100'lük bir bant genişliği artışı elde edilmiştir. Yama yüzeyinde ve yer düzleminde farklı türde yuvaların bir kombinasyonunu uygulayarak dikdörtgen bir mikroşerit yama antenin bant genişliği ve kazanç optimizasyonu Ansys HFSS kullanılarak simüle edilmiştir. Önerilen yapı, optimizasyondan sonra kazanç için yaklaşık %18.6 ve bant genişliği için neredeyse %100'lük bir iyileşmeye sahiptir (Chandran ve Viswasom 2014).

Bu yazıda Chintakindi, herhangi bir boyuttaki ve herhangi bir alt tabaka kalınlığındaki dikdörtgen mikroşerit antenin çalışma frekansını ve besleme noktasını doğru bir şekilde hesaplamak için geliştirilmiş standart denklem ile birlikte Parçacık Sürü Optimizasyonu tekniğini uygulamak için yeni bir teknik geliştirmiştir. Bu teknik, çalışma frekansı, besleme noktası vb. gibi mikroşerit anten parametrelerini hesaplamak için genelleştirilmiş bir yumuşak hesaplama aracı gibi görünmektedir. PSO tekniği kullanılarak mikroşerit antenin çalışma frekansı ve besleme noktasının hesaplanması için yeni bir yaklaşım geliştirilmiştir. Bu yaklaşım, doğru sonuçlar verirken hesaplama süresini azaltmaktır. Sonuçlardan görüldüğü gibi, PSO uygulanan tekniğin sonuçları deneysel değerlere daha yakındır. Minyatürleştirilmiş durumda, önerilen yöntem doğru

sonuçlar vermede uzun bir yol kat edebilir. Bu nedenle, önerilen yumuşak hesaplama tekniği, basit ve genelleştirilmiş yaklaşımı nedeniyle mikroşerit anten tasarımı için alternatif bir CAD benzetim aracı olarak kullanılabilir olduğu gösterilmiştir (Chintakindi 2007).

Verma ve Srivastava tarafından hazırlanan çalışma, bant genişliği (BW) geliştirme ve 2.40 GHz tasarım frekansında çalışma frekansı kararlılığı için eğri uydurma tabanlı parçacık sürü optimizasyonu (PSO) kullanan açık uçlu “+” Şekilli oluklu mikroşerit antenin bir optimizasyonunu ve analizini sunar. Optimizasyon, bant genişliği ve çalışma frekansı için eğri uydurma yazılımı (Graphmatica) tarafından oluşturulan ilişki denklemleri ile MATLAB tabanlı PSO programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu makalede, bant genişliğini artırma ve çalışma frekansını istenen 2.40 GHz frekansına yakın sabitleme girişiminin optimizasyonunu incelemektedir. PSO programı, eğri uydurma (curve fitting) ile elde edilen denklemler kullanılarak geliştirilmiştir. PSO programı için başvuruda, WiMAX ve WLAN için geçerli olan 1.795 ila 2.950 GHz frekans bandını kapsayan “+” Şekilli oluklu antenin kesirli bant genişliği, çalışma frekansı 2.391 GHz'de rezonansa girerek %37.01'den %48.68'e yükseltildi. Doğrusal olmayan anten optimizasyonu için özel olarak uygun olduğu algılanmıştır. PSO için optimize edilmiş anten, 3.4 dB'lik sabit bir tepe kazancına ve çalışma frekansı 2.391 GHz'de %93.9'luk bir anten verimliliğine sahip olduğu gösterilmiştir (Verma ve Srivastava 2021).

Bu alışmada Gangopadhyaya ve arkadaşları koaksiyel (eşeksenli) prob beslemeli dikkörtgen mikroşerit antenin çalışma frekansının optimizasyonu için PSO kullanılmıştır. Araştırma farklı mikrodalga frekanslarında ve 3 GHz ile 18 GHz arasında yapılmıştır. Optimizasyon probleminin yama uzunluğu, yama genişliği ve besleme konumu olmak üzere üç değişkeni vardır. Sonuçlar, optimum tasarım için PSO kullanımını teşvik eder. Bir koaksiyel beslemeli mikroşerit yama anteni durumunda matematiksel olarak yaklaşık besleme reaktansının etkisinin dikkate alınması nedeniyle, çalışma frekansının istenen sonuçlardan sapma olasılığı vardır. Bu tür sapmaları en aza indirmek için çaba gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara dayanarak, PSO'nun verimli kullanımının çalışma frekansının sapmasını sınırladığı ve optimum sonuçlar sunabildiği sonucuna varılabilir. Geri dönüş kaybı grafikleri, optimizasyon sürecinden elde edilen

çalışma frekanslarının, yöntemin etkinliğini kanıtlayan istenen değerlerle tam olarak eşleştğini göstermektedir (Gangopadhyaya vd. 2010).

Bu bildiri Mishra ve diğerleri, yüksek yönlülüğe ve kazançta sahip tek bir yama, kare şeklinde bir mikroşerit yama anteni önerilmiştir. Önerilen antenin geometrisi, geniş bant uygulamaları için X-Band'de çalışmak üzere bir Genetik Algoritma (GA) kullanılarak optimize edilmiştir. Önerilen anten tasarımı, 550 MHz (simüle edilmiş) ve 450 MHz (ölçülen) geniş bir çalışma bant genişliği, yüksek kazanç ve yaklaşık 8.35 dB (benzetilmiş) yönlülük sergiler, bu da onu geniş bant uygulamaları için uygun hale getirir. İletim hattı modellenmesi kullanılarak hesaplanan empedans 52.33 Ω 'dur. Benzetim yakınlığı ile birlikte empedans hesaplamaları ve ölçülen bir sonuç, antenin tasarım sürecini doğrular. Önerilen antenin basit şekli ve küçük boyutu, genetik bir algoritma kullanılarak optimizasyon ile elde edilmiştir. Bu çalışmanın yeniliği, anten tasarımının imalatını kolaylaştıran sadeliğidir (Mishra vd. 2018).

Bu çalışmada Islam ve çalışma arkadaşları eğri uydurma ile parçacık sürü optimizasyonu (PSO) kullanan mikroşerit yama anteni için bir optimizasyon tekniği bu yazıda tanıtılmaktadır. Optimizasyon tekniğini göstermek için IMT-2000 bandı için tasarlanmış ters çevrilmiş E-şekilli bir mikroşerit yama anteni kullanılmıştır. Eğri uydurma verileri, antenin farklı geometrik parametrelerinin değiştirilmesiyle Zealand IE3D yazılımından elde edilmiştir. Veriler kullanılarak, bir mikroşerit antenin farklı parametreleri arasındaki ilişkiyi temsil eden denklemler üretilmiştir. Eğriyi oluşturmak için Graphmatica eğri uydurma yazılımı kullanıldı. PSO programı MATLAB'da geliştirilmiş ve son olarak, optimize edilmiş anten Zelanda IE3D'de simüle edilmiştir. Geleneksel anten ve eğri uydurma tabanlı PSO optimize edilmiş anten arasındaki karşılaştırma, bant genişliği üzerinde kayda değer bir gelişme gösterdi. Ters E-şekilli mikroşerit yama anteni için bant genişliği %15 arttı. Bu çalışmada, eğri uydurma ile elde edilen denklemler kullanılarak PSO programı geliştirilmiştir. PSO programı kullanılarak, ters çevrilmiş E-şekilli yama antenin bant genişliği %15 oranında artırılmıştır. Optimizasyon tekniği, ters çevrilmiş bir E-şekilli mikroşerit yama anteni ile IMT-2000 bant antenleri üretme yeteneğini göstermiştir (Islam vd. 2009).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada dikdörtgen şekilli mikroşerit antenler, iletim hattı modeli ile oluşturulmuş kapalı formüllerin sezgisel algoritmalar ile optimize edilmesini konu almaktadır. Literatürde verilen deneysel veriler ve kapalı formüller kullanılarak anten tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan antenler anten tasarım programı olan CST Studio ile modellenmiştir. Antenlerin fiziksel parametrelerinin belirlenmesinde genetik algoritma ve parçacık sürü optimizasyonu yöntemleri kullanılmıştır. Tezin bu bölümünde bu optimizasyon algoritmaları ve mikroşerit antenler hakkında detaylı bilgiler sunulacaktır.

3.1 Genetik Algoritma

Doğa her zaman tüm insanlık için büyük bir ilham kaynağı olmuştur. Genetik algoritmalar, doğal seçilim ve genetik kavramlarına dayanan arama tabanlı algoritmalarıdır. GA'lar, evrimsel hesaplama olarak bilinen çok daha büyük bir hesaplama dalının bir alt kümesidir. GA'lar, John Holland ve Michigan Üniversitesi'ndeki öğrencileri ve meslektaşları tarafından geliştirilmiş ve o zamandan beri çeşitli optimizasyon problemlerinde yüksek derecede başarı ile dünya çapında uygulama bulmuştur.

GA'larda, verilen soruna yönelik olası çözümlerden oluşan bir popülasyon oluşturulur. Bu çözümler daha sonra çapraz geçiş ve mutasyona uğrar (doğal genetikte olduğu gibi), yeni nesiller üretir ve süreç çeşitli nesiller boyunca tekrarlanır. Her bir bireye (veya aday çözüme) bir uygunluk değeri (amaç fonksiyonuna bağlı olarak) atanır ve daha uygun olan bireylere çiftleşme ve daha "uygun" bireyler üretme şansı verilir. Bu, Darwin'in "en güçlü olanın hayatta kalması" teorisi ile de uyumludur. Bu şekilde, bir durdurma ölçütüne ulaşıncaya kadar nesiller boyunca daha iyi bireyler veya çözümler üretilmeye devam edilir.

3.1.1 Genetik algoritmanın avantajları

Genetik algoritmanın günümüzde son derece ünlü olmasını sağlayan avantajları şu şekilde sıralanabilir:

- Gradyent temelli olmadığı için herhangi bir türev bilgisine ihtiyaç duymaz (gerçek dünyadaki birçok problem için türev bilgisi mevcut olmayabilir).
- Geleneksel yöntemlere göre daha hızlı ve daha verimlidir.
- Hem sürekli hem de süreksiz fonksiyonları ve ayrıca çok amaçlı problemleri optimize etmede kullanılabilir.
- Tek bir çözüm yerine, "iyi" çözümlerin bir listesini sağlar.
- Optimizasyonun her aşamasında probleme olası bir çözüm kümesi sunar ve bu çözümler zamanla iyileştirilir.
- Büyük arama uzayı ve çok sayıda parametrenin yer aldığı problemlerde etkili çözüm sağlar.

3.1.2 Genetik algoritmanın sınırları

Genetik algoritmaların da diğer optimizasyon yöntemlerinde olduğu gibi kullanımında bazı sınırlamalar mevcuttur. Bunlar şu şekilde sıralanabilir:

- GA'lar türev bilgilerinin kullanılması gereken problemlerin optimizasyonu için uygun değildir.
- Bu yöntemde uygunluk değeri her birey için tekrar tekrar hesaplanır ve bu, bazı problemlerde hesaplama maliyetini çokça arttırabilir.
- Stokastik bir arama yöntemi olduğu için çözümün optimalliği veya kalitesi konusunda hiçbir garanti yoktur.
- Doğru şekilde uygulanmazsa, GA'lar optimal çözüme yakınsamayabilir.

3.1.3 Temel terimler

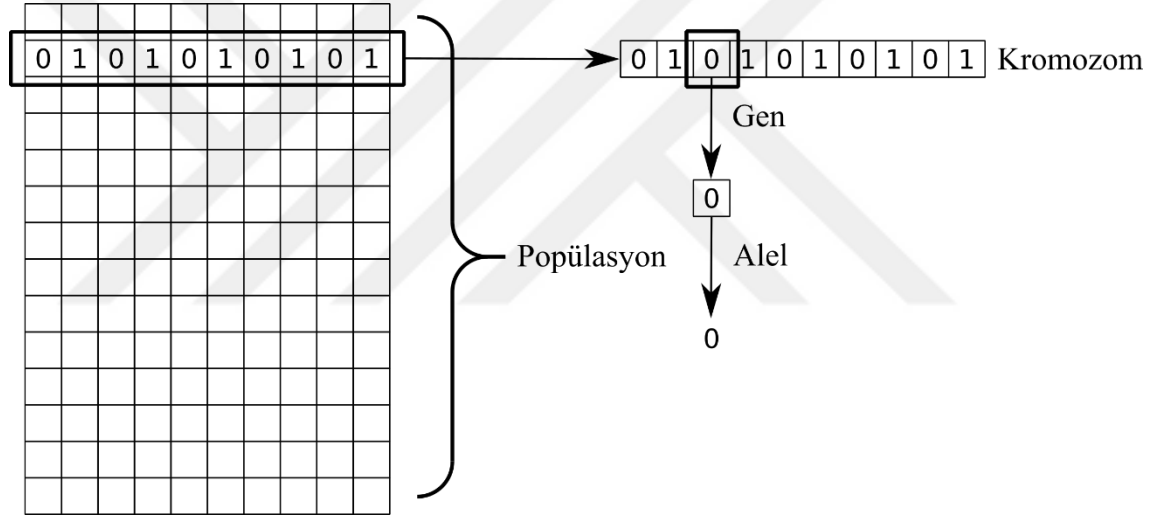
GA ile ilgili genel terimler ve bunların tanımları aşağıda sunulmuştur.

Popülasyon: Verilen soruna yönelik tüm olası (kodlanmış) çözüm kümesidir. Her nesilde büyüklüğü sabit kalır.

Kromozomlar: Çözüm için kullanılan bireylerdir. Her kromozom çözümü tümü ile ifade eder.

Gen: Kromozom içindeki anlamlı en küçük bilgidir. Problemdaki parametre sayısı ile doğrudan ilgilidir. Bir kromozomdaki tüm genlerin birleşimi çözümü ifade eder.

Alel: Bir genin belirli bir kromozom için aldığı değerdir.

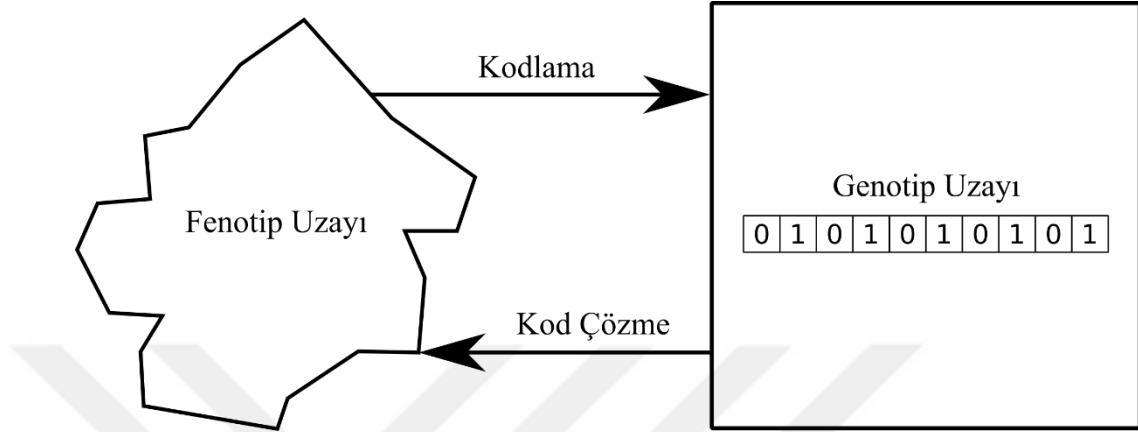


Şekil 3.1 Genetik algoritma hakkında temel terimlerin gösterimi

Genotip: Hesaplama alanındaki popülasyondur. Hesaplama alanında çözümler, bir bilgi işlem sistemi kullanılarak kolayca anlaşılabilir ve manipüle edilebilecek bir şekilde temsil edilir.

Fenotip: Çözümlerin gerçek değerini temsil eden çözüm alanındaki popülasyondur.

Kod Çözme ve Kodlama: Kod çözme, bir çözümü genotipten fenotipe dönüştürme sürecidir, kodlama ise fenotipten genotipe dönüşüm sürecidir. Uygunluk değeri hesaplaması her nesil için tekrar tekrar yapıldığından kod çözme hızlı olmalıdır.



Şekil 3.2 Kodlama ve kod çözme sürecinin gösterimi

Uygunluk Fonksiyonu: Uygunluk fonksiyonu, basitçe, problemin aday çözümlerini girdi olarak alan ve söz konusu probleme göre çözümün ne kadar "iyi" olduğunu çıktı olarak üreten bir fonksiyon olarak tanımlanır. Genetik algoritmalarda da her optimizasyon yönteminde olduğu gibi aday çözümlerin kalitesini doğru bir şekilde ölçen bir uygunluk fonksiyonunun belirlenmesi optimizasyonun performansını büyük oranda etkilemektedir. İyi bir uygunluk fonksiyonu, kromozomların belirli bir sorunu etkili bir şekilde çözmesini sağlar. Hem uygunluk fonksiyonu hem de çözümün temsil edilmiş şekli probleme bağlı parametrelerdir. Bu iki parametrenin kötü bir şekilde seçilmesi, GA'ların performansını büyük ölçüde etkilemektedir (Fletcher 2000). Bireylerin uygunluk değerlerinin hesaplanması bir GA'da tekrar tekrar yapılır ve bu nedenle uygunluk fonksiyonu kolay hesaplanabilir olmalıdır. Uygunluk değerinin yavaş hesaplanması, bir genetik algoritmanın performansını olumsuz etkileyebilir ve algoritmayı son derece yavaş hale getirebilir. Dolayısıyla seçilen uygunluk fonksiyonlarının sahip olması gereken özellikler şu şekilde özetlenebilir:

- Uygunluk fonksiyonu yeterince hızlı olmalıdır.
- Bireylerin problemin çözümüne uygunluğunu nicel olarak ölçmesi gerekir.

- Bazı durumlarda, mevcut problemin doğasında var olan karmaşıklıklar nedeniyle uygunluk fonksiyonun doğrudan hesaplanması mümkün olmayabilir. Bu gibi durumlarda, ihtiyaçlara uyacak şekilde uygunluk tahmini yapılabilir.

Elitizm: En uygun kromozom veya istenilen sayıda en iyi kromozom, yeni popülasyona üzerlerinde hiçbir değişiklik yapılmadan aktarılır. Kalan kromozomlar daha sonra herhangi bir seçim operatörü kullanılarak seçilir. En iyi çözüm asla kaybolmadığından, optimizasyonun performansı önemli ölçüde iyileştirilmiş olur (Gray vd. 1997).

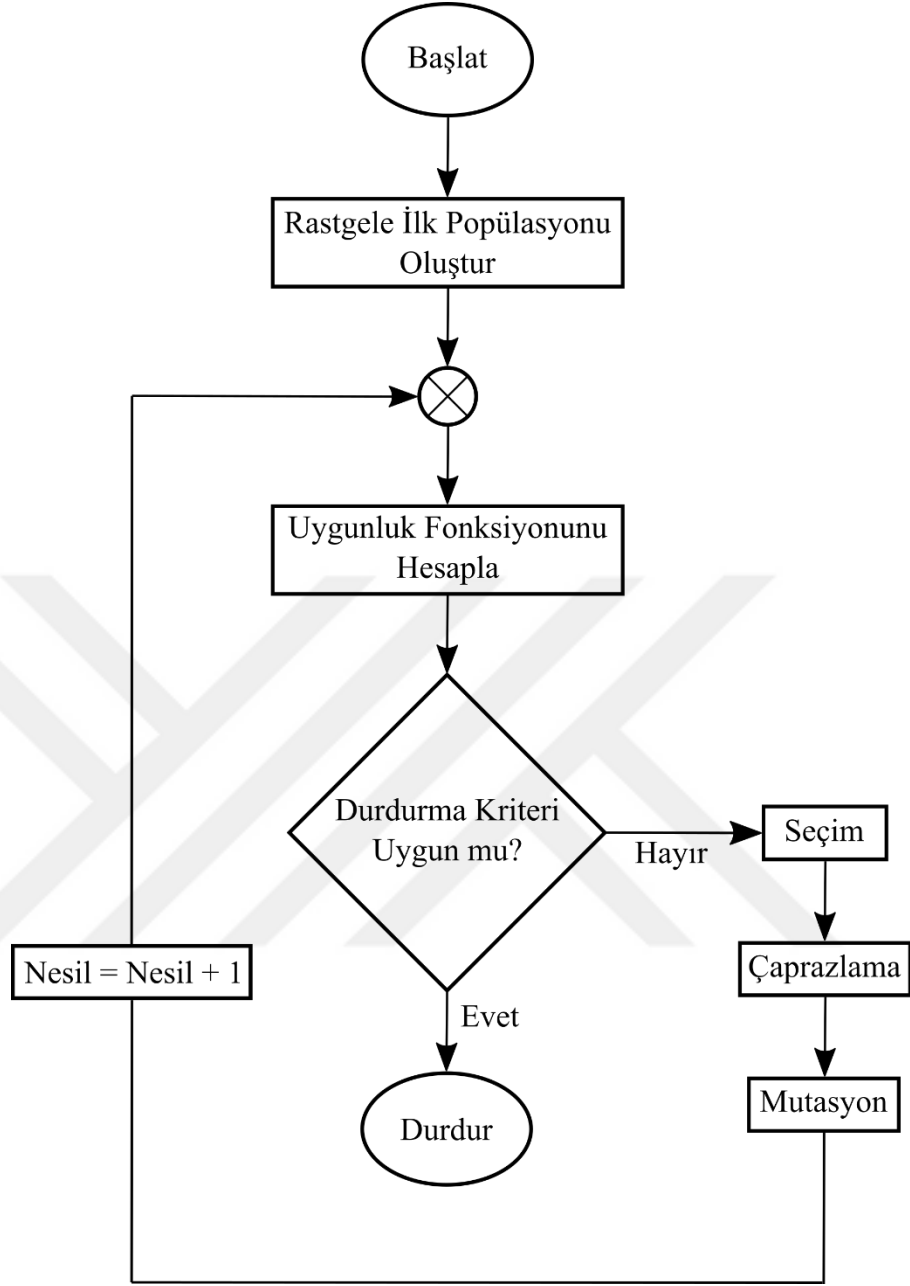
Genetik Operatörler: Bunlar mutasyon ve çaprazlama gibi çeşitliliği sağlamak adına yeni bireylerin genetik yapısını değiştiren işlemlerdir. Genetik operatörlerin çeşitleri ve detayları bu bölümün sonraki kısımlarında verilecektir.

3.1.4 Genetik algoritmaların temel çalışma ilkeleri

Algoritmanın başlatılmasına müteakiben başlangıç popülasyonu rastgele oluşturulur ve bir sonraki nesli oluşturmak için bu popülasyondan ebeveynler seçilir. Yeni bireyler oluşturmak için ebeveynlere çapraz geçiş ve mutasyon operatörleri uygulanır. Ve son olarak, bu bireyler popülasyondaki mevcut bireylerin yerini alır ve süreç tekrar eder. Bu şekilde, genetik algoritmalar aslında doğal evrim sürecini bir dereceye kadar taklit etmeye çalışır. Şekil 3.3'te bu süreci anlatan sözde kodu verilmiştir. Ayrıca Şekil 3.4'te genetik algoritmalarının genel akış şeması sunulmuştur.

```
Rastgele bir başlangıç popülasyonu oluştur
Nesil = 1
while (sonlandırma ölçütüne ulaşıncaya kadar)
    Her bireyin uygunluk değerini hesapla
    Çaprazlama ile yeni bireyler oluştur
    Yeni bireyleri mutasyon ile değiştir
    Yeni bireylerin uygunluk değerini hesapla
    Yeni bireyleri mevcut popülasyondaki kötü bireylerle değiştir
    Nesil = Nesil + 1
endwhile
return Popülasyon
```

Şekil 3.3 Tipik bir genetik algoritmanın sözde kodu

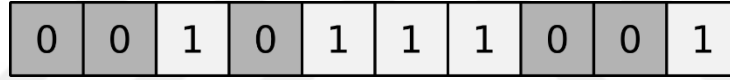


Şekil 3.4 Genetik algoritmaların genel akış şeması

Çözüm Gösterimi: Genetik algoritmaları uygularken verilecek en önemli kararlardan biri, problemin çözümünün nasıl temsil edileceğidir. Probleme uygun olmayan çözüm temsillerinin GA'nın düşük verimle çalışmasına yol açabileceği gözlenmiştir. Bu nedenle, uygun bir temsil seçimi aynı zamanda fenotip ve genotip arasındaki geçişin verimi ile alakalı olduğundan bir GA uygulamasının başarısı için büyük önem arz etmektedir. Çözüm gösteriminin şekli doğrudan optimizasyon probleminin doğasıyla

ilgili olduğu için çok çok çeşitli gösterim şekilleri literatürde karşımıza çıkmaktadır. Biner gösterim, gerçek değerli gösterim (Janikow ve Michalewicz 1991), tam sayı gösterimi (Bramlette 1991), gri kodlu gösterim (Rana ve Whitley 1998) ve matris gösterimi (Michalewicz 2013) bunlara örnek olarak verilebilir. Genel olarak, biner harici gösterimler her gösterim için farklı evrimsel operatörler gerektirirken, tek tip operatörler herhangi bir problem için biner gösterimde kullanılabilir (Van den Bergh 2002).

- **İkili (Binary) gösterim:** İkili gösterim, genetik algoritmalarda kullanılan en basit ve en yaygın çözüm gösterim şeklidir. Bu gösterimde genotip bit dizilerinden oluşturulur. Özellikle çözüm uzayının mantıksal karar değişkenlerinden oluştuğu problemler için kullanılır. İkili gösterimde farklı bitler farklı anlamlara sahip olduğu için mutasyon ve çaprazlama operatörleri istenmeyen sonuçlar doğurabilir ve “1” ile “0” elemanlarından oluşan dizgeler halindedir.



Şekil 3.5 İkili gösterim

- **Gerçek Değerli Gösterim:** Genlerin ayrı değişkenler yerine sürekli gerçek değerler kullanarak tanımlanması gereken problemler için, gerçek değerli gösterim en doğal olanıdır. Bu gerçek değerli sayılarla elde edilmek istenen çözümün kesinliği bilgisayarın hesaplama kapasitesiyle sınırlıdır. Fakat günümüzdeki bilgisayarların kapasitesi göz önünde bulundurulduğunda artık bu kısıtlama bir engel teşkil etmemektedir.

0.5	0.2	0.6	0.8	0.7	0.4	0.3	0.2	0.1	0.9
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Şekil 3.6 Gerçek değerli gösterim

- **Permütasyon Gösterimi:** Çözümün belirli unsurların sıralaması şeklinde ifade edilmesi gereken problemlerde permütasyon gösterimi kullanılır. Bu tür problemler literatürde genellikle iş sıralama problemleri olarak adlandırılırlar. Ders programı oluşturma ve fabrikada yapılacak işlerin belirli kısıtlar altında sıralanması bu tarz problemlere örnek olarak gösterilebilir.

1	5	9	8	7	4	2	3	6	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Şekil 3.7 Permütasyon gösterimi

Başlangıç Popülasyonu Oluşturma: Popülasyon, mevcut nesildeki çözümlerin bir alt kümesidir. Aynı zamanda popülasyon bir kromozomlar dizisi olarak da tanımlanabilir. Genetik algoritmalarda popülasyon oluştururken göz önünde bulundurulması gereken birkaç nokta vardır. Popülasyonun çeşitliliği mutlaka korunmalıdır, aksi takdirde arama uzayının büyük bir kısmı keşfedilemeden algoritma yerel bir optimumda sıkışabilir ve bu durum erken yakınsamaya yol açabilir. Bu durumdan kaçınmak için ayrıca popülasyondaki birey sayısı da artırılabilir. Fakat bu durum aynı zamanda algoritmanın yavaşlamasına neden olabileceğinden, popülasyon boyutu çok büyük tutulmamalıdır. Bu nedenle, optimal popülasyon büyüklüğüne optimizasyon problemi göz önünde bulundurularak deneme yanılma yoluyla karar verilmesi gerekir.

Genetik algoritmalarda başlangıç popülasyonu oluşturmak için kullanılan iki temel yöntem vardır:

- **Rastgele Başlatma:** İlk popülasyon tamamen rastgele çözümlerle oluşturulur.
- **Sezgisel Başlatma:** Problem için bilinen bir sezgisel yöntem kullanılarak ilk popülasyon oluşturulur.

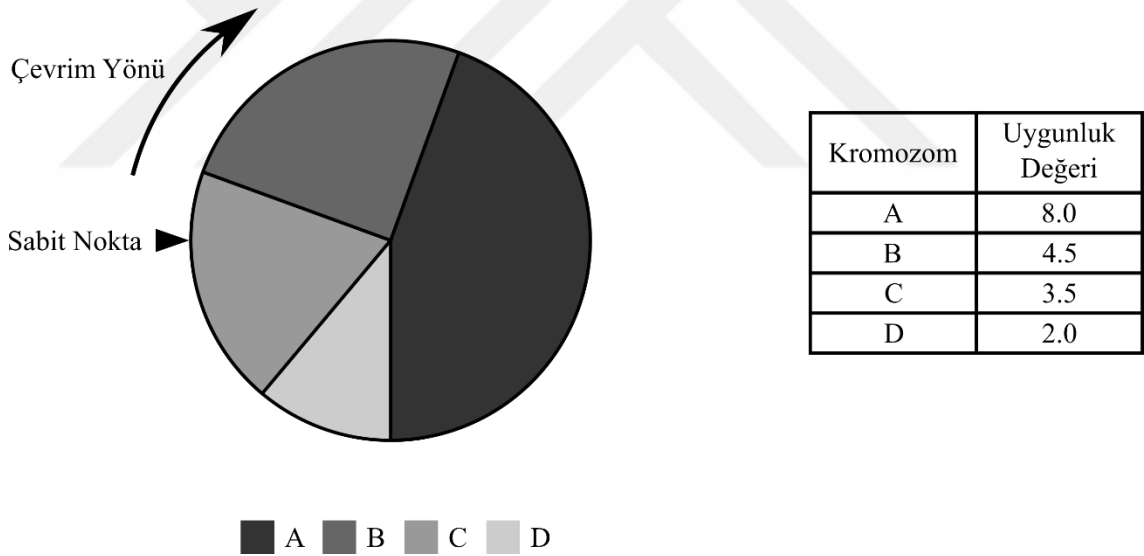
Yıllar içerisinde yapılan çalışmalarda başlangıç popülasyonunun tamamıyla birbirine benzer çözümlerden oluşmaması için popülasyonun tamamının bir sezgisel yöntem kullanılarak oluşturulmaması gerektiği gözlemlenmiştir. Benzer şekilde rastgele çözümlerin popülasyonu en iyiye götüren çözümler olduğu deneysel olarak gözlemlenmiştir. Bu nedenle, sezgisel başlatma ile popülasyonun tamamını sezgisel oluşturulan ya da rastgele oluşturulan bireylerle doldurmak yerine, çözümlerin bir kısmını sezgisel ve geri kalanını da rastgele oluşturmak en iyi sonucu verecektir. Bazı durumlarda sezgisel başlatmanın yalnızca popülasyonun başlangıçtaki uygunluğunu etkilediği, ancak mutasyon operatörü sayesinde yeni nesillerde optimal çözüme götüren çeşitliliğin ortaya çıktığı görülmüştür. Sonuç olarak GA'nın verimli bir şekilde çalışması için başlangıç popülasyonu oluşturulurken sezgisel ve rastgele başlatmanın ne oranda kullanılacağı problemde değişiklik göstermektedir.

Seçilim: Genetik algoritmaların performansını etkileyen bir diğer önemli unsur, çaprazlama ile yeni kromozomları (yavru olarak adlandırılır) oluşturacak mevcut kromozomları (ebeveynler olarak adlandırılır) belirlemek için kullanılan seçim operatörüdür. Seçim operatörü en genel anlamda en iyi bireyleri seçmek için kullanılabilir. Burada bahsi geçen elitist yaklaşımın temel amacı, bireyleri arama uzayında görünüşte daha kârlı bölgelere odaklamaktır. Böylece iyi ebeveynlerden oluşturulan yavrular algoritmayı daha iyi çözümlere yönlendireceğinden optimizasyonun başarısı açısından elitist yaklaşım büyük önem arz eder (Angeline 1998). Bununla birlikte, yüksek uygunluk değerine sahip çözümlerin birkaç kuşakta tüm popülasyonu ele geçirmesini önlemek için seçim esnasında ayrıca özen gösterilmelidir, çünkü bu, mevcut popülasyondaki bireylerin birbirine benzer olmasına ve dolayısıyla çeşitlilik kaybına neden olur. Nüfustaki genetik çeşitliliği korumak, GA'nın verimli çalışması açısından son derece önemlidir. Bu sebeple kullanılan seçim operatörleri genellikle elitist yaklaşım güderken çeşitliliği de koruyacak şekilde tasarlanır. Literatürde sıkça kullanılan seçim yaklaşımları şu şekilde özetlenebilir:

- **Uygunluk Orantılı Seçim:** Seçim operatörleri arasında en iyi bilinen yöntemlerden biridir. Bunda her birey, uygunluk değerinin yüksekliği nispetinde seçilme olasılığına sahiptir. Bu nedenle, uygun bireylerin çiftleşme ve

özelliklerini bir sonraki nesle aktarma şansı daha yüksektir. Böyle bir seçim stratejisi, popülasyondaki daha uygun bireylere bir seçim baskısı uygular ve algoritma zamanla daha iyi bireyler geliştirir. Uygunluk orantılı seçim genellikle rulet çarkı seçimi ya da stokastik evrensel örnekleme şeklinde uygulanır.

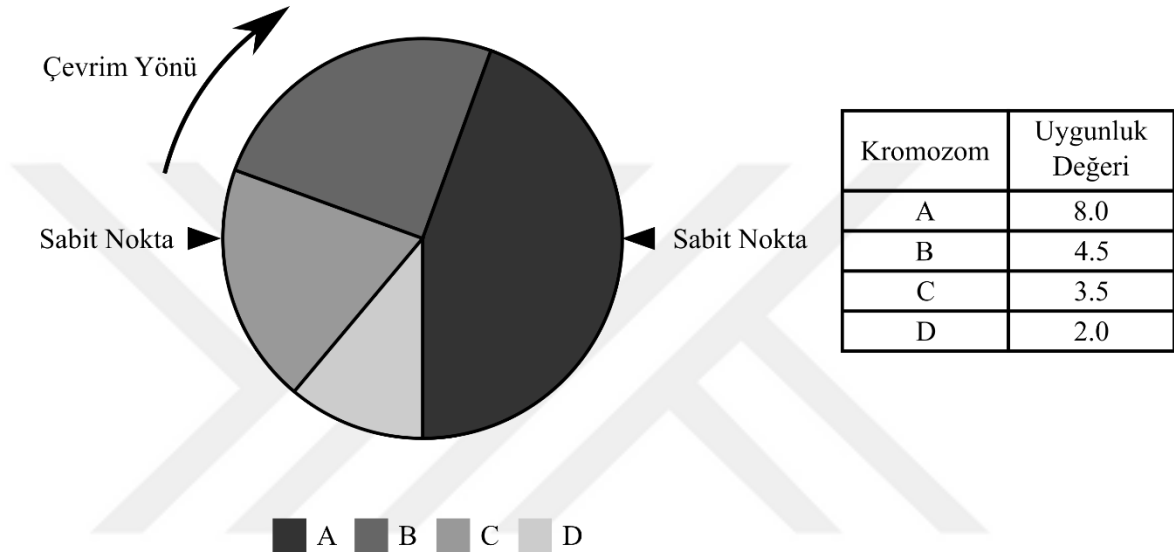
- **Rulet Çarkı Seçimi:** Bu seçim yönteminde dairesel bir çark popülasyondaki birey sayısı kadar parçaya bölünür. Her bireyin çark üzerinde kapladığı alan uygunluk değeriyle orantılı şekildedir. Çarkın her dönüşünde çiftleşecek bir tane birey seçilir. Daha uygun olan bir bireyin, tekerlek üzerinde daha büyük bir pastaya sahip olduğu ve bu nedenle, tekerlek döndürüldüğünde sabit noktanın önüne inme şansının daha yüksek olduğu açıktır. Bu nedenle, bu yöntemde bir bireyin seçilme olasılığı doğrudan uygunluğuna bağlıdır. Ayrıca uygunluk değeri düşük olan bireylere de seçilme şansı verildiği için gen çeşitliliği sağlanmış olur (Goldberg 1989).



Şekil 3.8 Rulet çarkı seçimi

- **Stokastik Evrensel Örnekleme:** Bu seçim yöntemi rulet çarkı seçimine oldukça benzerdir. Fakat ondan farklı olarak rulet çarkının bir çevriminde çaprazlama için kullanılacak tüm bireyler aynı anda seçilir (Goldberg 1989). Dolayısıyla çarkın üzerinde bir nesilde çaprazlama için seçilecek birey sayısı kadar sabit nokta olur ve bu sabit noktalar çarkın üzerine eşit aralıklarla yerleştirilir.

Örneğin, Şekil 3.9’da gösterilen stokastik evrensel örneklemede bir nesilde sadece iki tane birey çaprazlama için seçilmiştir ve rulet tekerleğinin üzerinde bu sebeple eşit aralıklarla yerleştirilmiş iki tane sabit nokta vardır. Bu yöntemde rulet çarkı seçimine kıyasla yüksek uygunluk değerine sahip bireyler seçilmeye daha çok teşvik edilmiş olur.



Şekil 3.9 Stokastik evrensel örnekleme seçimi

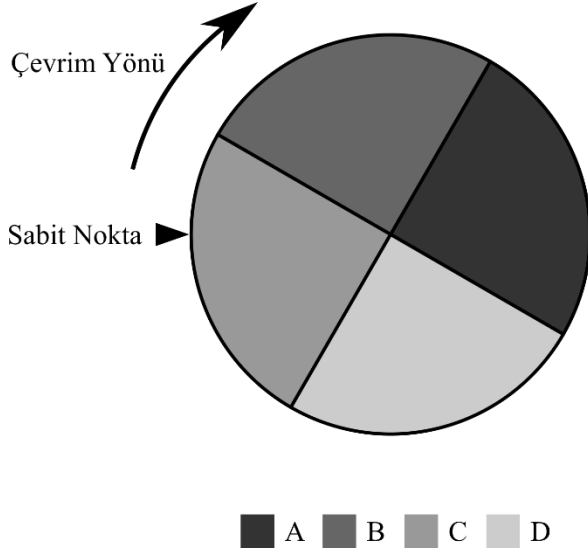
- **Sıra Seçimi:** Rulet çarkı seçiminde, uygunluk değeri yüksek bireyler seçim sürecinde aşırı baskın hale gelerek diğer bireylerin seçilmesini engelleyebilir (Gray vd. 1997). Bir veya birkaç kromozom, diğer kromozomların uygunluğuna kıyasla çok yüksek bir uygunluğa sahip olduğunda, düşük uygunluğa sahip kromozomların çiftleşme için seçilme şansı çok düşük olacaktır. Bu, seçim baskısını artıracak ve çeşitliliğin hızla azalmasına ve erken yakınsamaya neden olacaktır. Bu sorunu azaltmak için, sıra seçiminde, kromozomların rulet çarkı üzerindeki payları mutlak uygunluk değerlerine göre atanmaz. Seçimden önce popülasyondaki tüm bireyler en kötüden en iyiye doğru sıralanır ve en kötü bireyin (en düşük uygunluk değerine sahip) uygunluk değeri 1, en kötü ikinci bireyin uygunluk değeri 2 olarak atanır ve sıranın devamında gelen bireyler için

de artan uygunluk değerleri bu şekilde atanır. Bu işlemin özeti Çizelge 3.1’de verilmiştir. Dolayısıyla rulet çarkı seçiminde olduğu gibi bu yöntemde de en uygun birey en fazla seçilme olasılığına sahip olur fakat yüksek uygunluk değerinin pastadaki payı azaltılmış olur. Bu nedenle, bu yaklaşımda düşük uygunluk değerine sahip bireylerin de seçilme şansı yükselmiş olur. Bununla birlikte, bu yaklaşım, rulet çarkı yaklaşımından daha yavaş bir yakınsama hızına sahip olabilir.

Sıra seçiminde mutlak uygunluk değeri kullanılmadığından negatif uygunluk değerleriyle de çalışır ve çoğunlukla popülasyondaki bireylerin çok yakın uygunluk değerlerine sahip olduğu durumlarda kullanılır (bu genellikle çalışmanın sonunda olur). Bu, Şekil 3.11’de gösterildiği gibi her bir bireyin pastadan neredeyse eşit bir paya sahip olmasına yol açar ve bu durum mevcut popülasyona benzer bireylerin oluşma olasılığını artırır. Bu da daha uygun bireylere yönelik seçim baskısında bir kayba yol açarak, GA’nın bu gibi durumlarda kötü ebeveyn seçimleri yapmasına neden olur.

Çizelge 3.1 Sıra seçim parametreleri

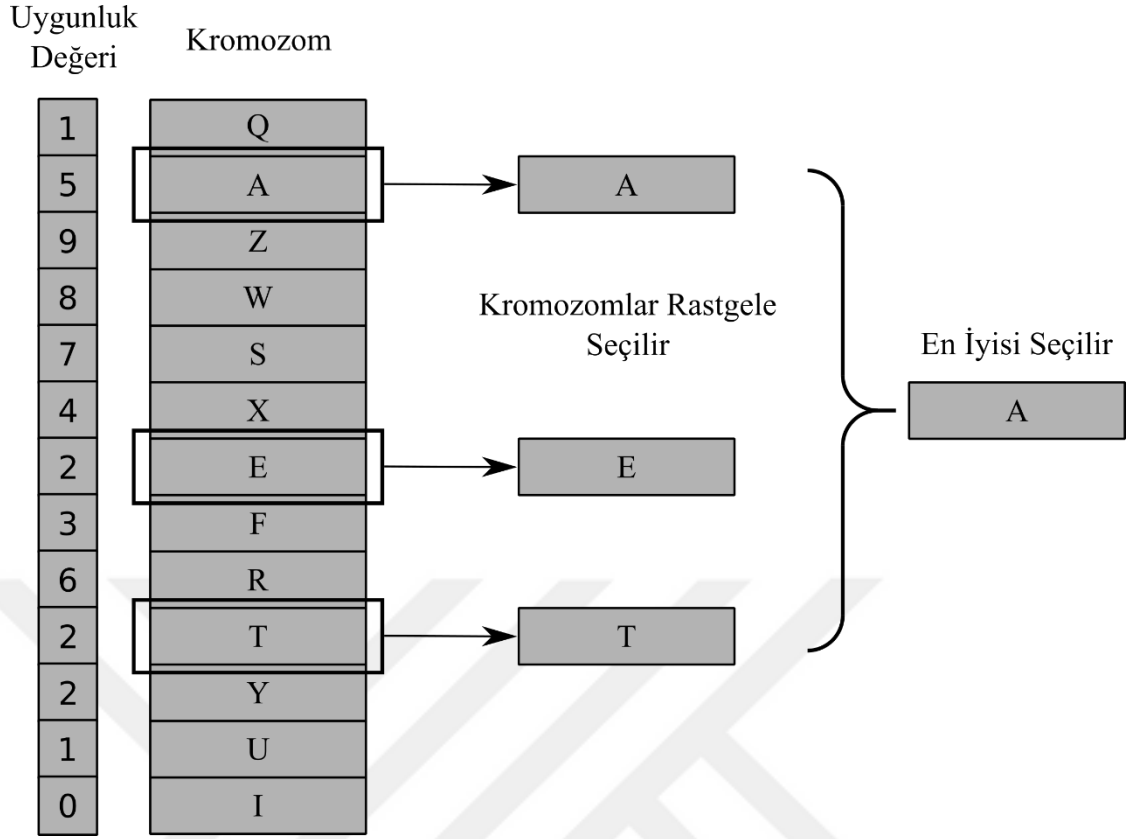
Kromozom	Mutlak Uygunluk Değeri	Sıra Seçimi Uygunluk Değeri
D	2.0	1
C	3.5	2
B	4.5	3
A	8.0	4



Kromozom	Uygunluk Değeri
A	8.0
B	4.5
C	3.5
D	2.0

Şekil 3.10 Sıra seçimi

- **Turnuva Seçimi:** Genetik algoritmalarda daha yaygın olarak kullanılan bu yaklaşımda (Goldberg 1989), bir dizi kromozom uygunluk değerleri gözetilmeksizin rastgele seçilir. Bu seçilen kromozomlar arasında en uygun kromozom daha sonra bir çiftleşme havuzuna yerleştirilir. Bu işlem, çiftleşme havuzunda çiftleşme sürecini başlatmak için yeterli sayıda kromozom bulunana kadar tekrarlanır.

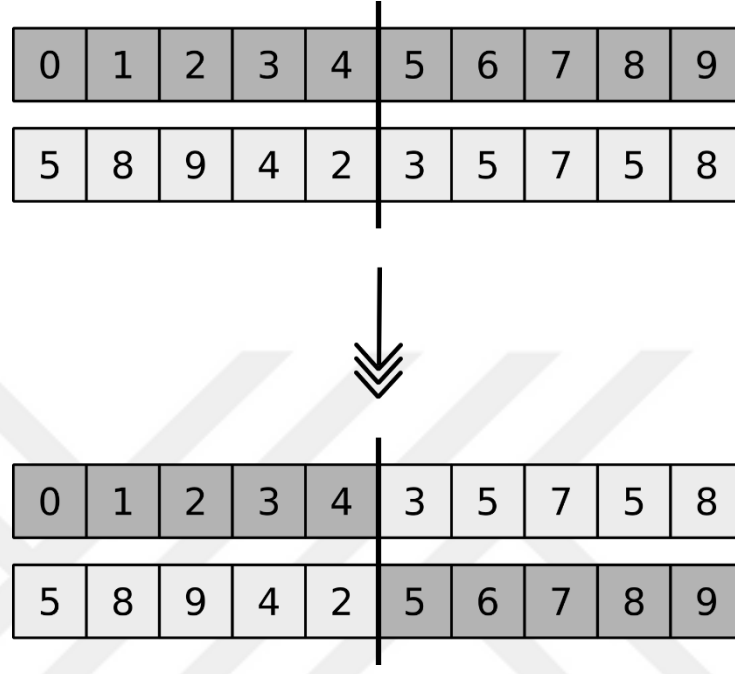


Şekil 3.11 Turnuva seçimi

- **Rastgele Seçim:** Bu stratejide, mevcut popülasyondan rastgele ebeveyn seçilmektedir. Seçim sırasında elitizm olmadığı için bu yöntemle çalıştırılan algoritmalarda yakınsama sorunları olmaktadır ve bu yüzden çok tercih edilmemektedir (Goldberg 1989).

Çaprazlama: Genetik algoritmalarda kullanılan çaprazlama operatörü, canlıların üremesindeki çaprazlamaya benzerdir. Bu işlem sırasında seçimle ayıklanan bireyler arasında gen alışverişi yapılarak yeni bireyler oluşturulur. Çaprazlama genetik algoritmanın arama yaparken kullandığı ana keşif operatörüdür. Seçilen bireyler arasında gen alışverişi belirli bir olasılıkla meydana gelir. Hangi bireyin genetik materyalinin ne kadarını bir sonraki nesle aktaracağını bu olasılık belirler. Genellikle bu olasılık 0.4 ile 0.8 arasında alınsa da çaprazlama olasılığı probleme bağlı olarak seçilmelidir. Literatürde en yaygın olarak karşılaşılan iki çaprazlama operatörleri tek ve çift noktalı çaprazlamadır (Goldberg 1989).

- **Tek Noktalı Çaprazlama:** Bu yöntemde çaprazlama için seçilen iki bireyin kromozomları rastgele seçilen bir noktadan bölünerek iki bireyin genetik materyali yer değiştirilir ve işlem sonucunda iki yeni birey meydana gelir (Goldberg 1989).

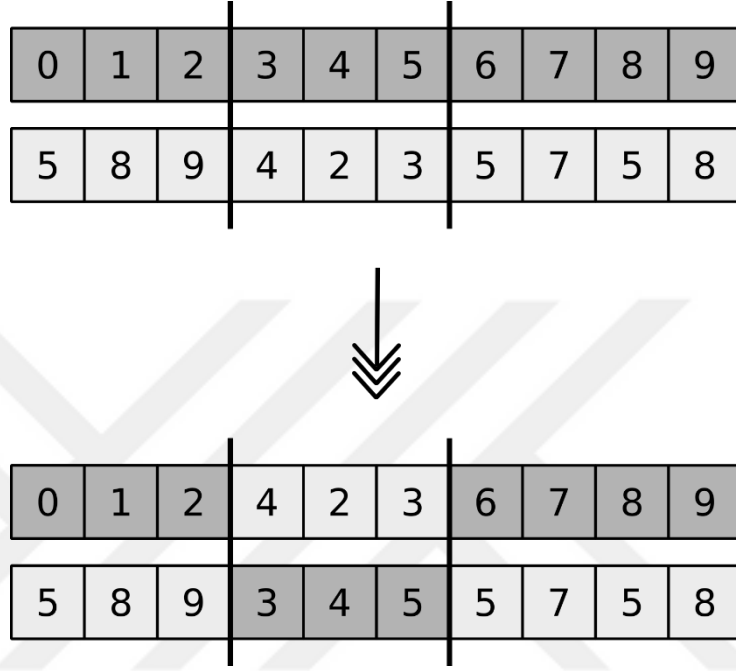


Şekil 3.12 Tek noktalı çaprazlama

- **Çok Noktalı Çaprazlama:** Bu yöntemde de tek noktalı çaprazlamaya benzer bir şekilde rastgele seçilen birden fazla noktadan çaprazlanacak bireylerin genetik materyalleri bölünür ve bireyler arasında gen alışverişi yapılır. Bu işlemin sonucunda da iki yeni birey meydana gelir (Goldberg 1989).

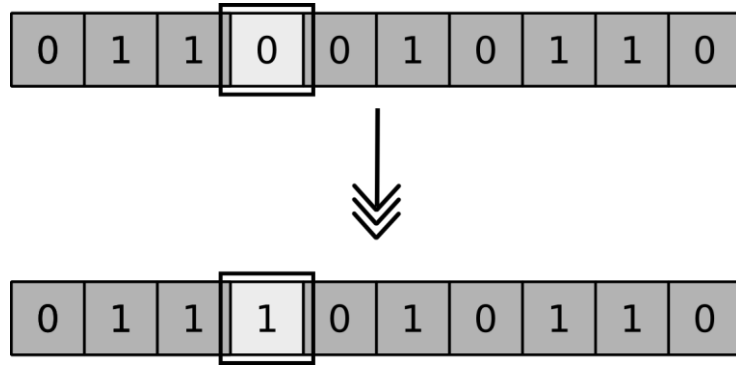
Mutasyon: Mutasyon, yeni bir çözüm elde etmek için kromozom üzerinde yapılan küçük ve rastgele bir ayar olarak tanımlanabilir. Genetik algoritma tabanlı algoritmalarda, mutasyon bir arka plan operatörü olarak kabul edilir. Esas olarak popülasyondaki çeşitliliği (çeşitliliği azaltan seçim ve çaprazlamanın aksine) artırarak arama uzayındaki yeni alanları keşfetmek ve yerel optimal çözümlerden kaçmak için kullanılır. Mutasyon, çaprazlama gerçekleştirildikten sonra oluşan yeni bireylere uygulanır. Örneğin, biner gösterim kullanan bir GA'da, mutasyon, kromozomdaki her bir genin değerinin programcı tarafından belirlenen bir mutasyon olasılığına göre ters çevrilmesiyle yapılır. Bu olasılık genetik algoritmanın diğer operatörlerinde olduğu gibi optimizasyon probleminin doğasına göre seçilmelidir. Mutasyon hem doğada hem de

GA'larda nadiren meydana gelir, bu nedenle mutasyon olasılığı için 0.01 mertebesinde değerler kullanılır. Eğer mutasyon olasılığı çok yüksekse, GA rastgele aramaya indirgenir ve bu istenen bir durum değildir (Lovbjerg 2002). Yaygın olarak kullanılan mutasyon işlemcileri şu şekildedir:



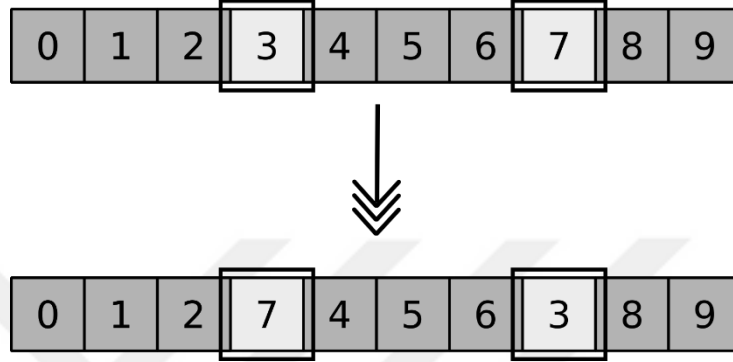
Şekil 3.13 Çok Noktalı çaprazlama işlemi

- **Bit Tersleme Mutasyonu:** Bu mutasyon yönteminde, bir veya daha fazla rastgele seçilen genlerin mantıksal değerleri ters çevrilir. Sadece biner gösterim kullanan GA'larda kullanılabilir (Lovbjerg 2002).



Şekil 3.14 Bit tersleme mutasyonu işlemi

- **Değişim Mutasyonu:** Değişim mutasyonunda, kromozom üzerinde rastgele seçilen iki genin değerleri birbirleriyle değiştirilir. Hem ikili hem de gerçek değerli GA’larda kullanılabilir. Fakat ikili gösterim kullanan GA’larda oluşan yeni bireyin bir öncekiyle aynı olma olasılığı yüksek olduğundan tercih edilmemektedir (Lovbjerg 2002).



Şekil 3.15 Değişim mutasyonu işlemi

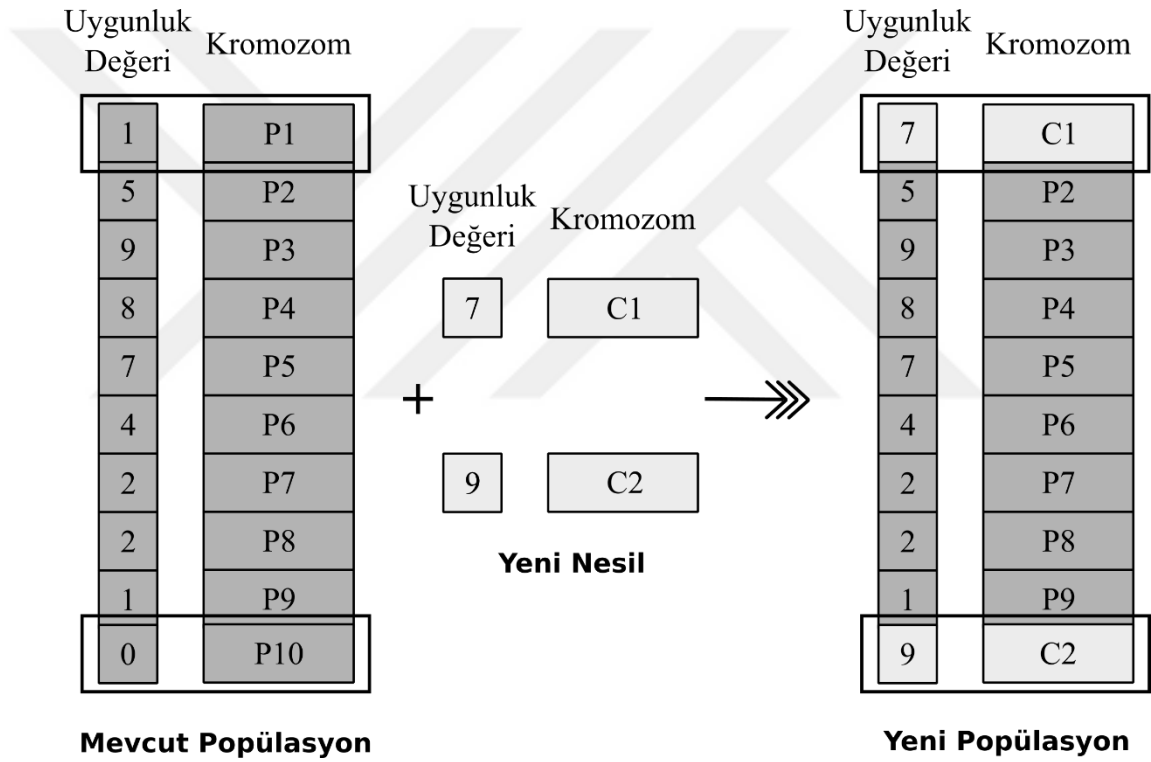
- **Rastgele Yeniden Atama:** Bu mutasyon yöntemi gerçek değerli GA’larda bit çevirmenin uygulanış biçimidir. Bu yöntemde mutasyona uğratılmak istenen bireyin rastgele seçilen bir geninin değeri yine rastgele seçilen (istenilen değer aralığından) bir gerçek sayıyla değiştirilir.

Seçim Politikası

GA’larda gereksiz işlem yükünden kaçınmak için mevcut popülasyonun sayısı sabit tutulur. Dolayısıyla çaprazlama ve mutasyon operatörlerinin kullanılmasından sonra yeni oluşan bireylerle de göz önünde bulundurularak mevcut popülasyonda hangi bireylerin kalması gerektiği ve hangilerinin mevcut popülasyondan çıkarılması gerektiğine karar verilmesi gerekir. Uygun olan bireylerin popülasyondan atılmaması ve aynı zamanda popülasyondaki çeşitliliğin sürdürülmesi gerektiği için seçim politikasının doğru bir şekilde yürütülmesi çok önemlidir. Genetik algoritmalarda elitizmin önemi bir önceki kısımlarda detaylı olarak anlatılmıştı. Algoritmanın bu aşamasında seçim politikasında elitizm mutlaka uygulanmalıdır. En basit haliyle mevcut popülasyonun en iyi uygunluk değerine sahip bireyi mutlaka bir sonraki nesle aktarılmalıdır. Bu aynı zamanda, hiçbir koşulda mevcut popülasyonun en uygun

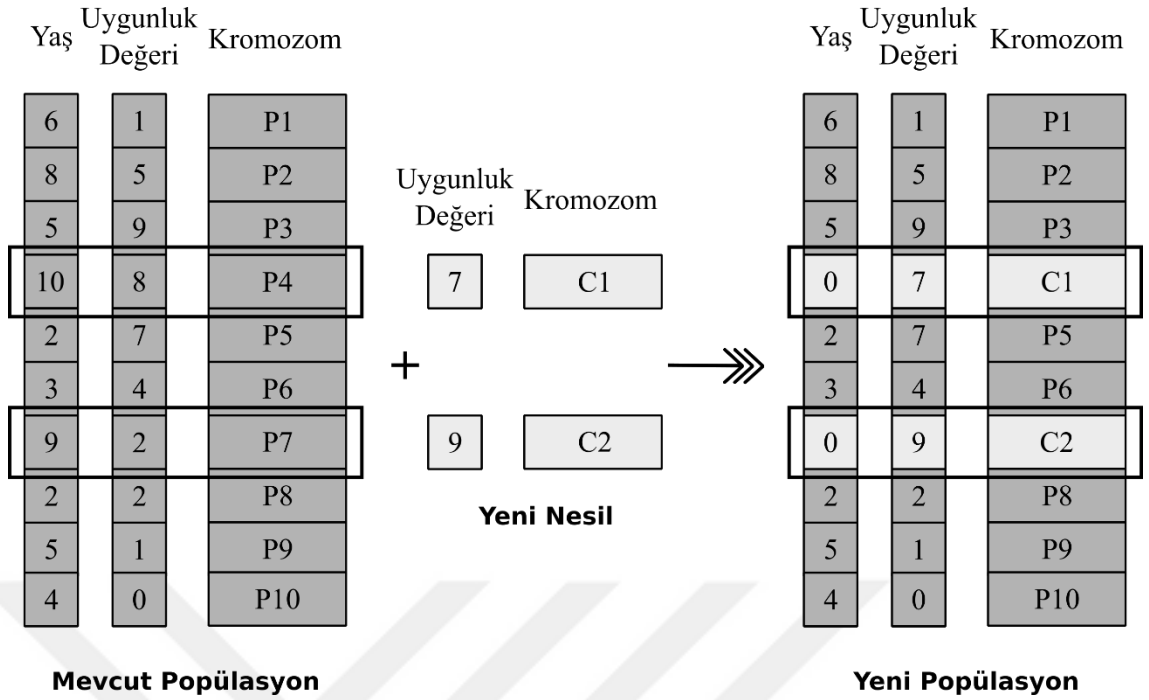
üyesinin değiştirilemeyeceği manasına gelir. Bu yüzden seçim politikası olarak tamamıyla rastgele seçim bu aşamada tercih edilmemektedir. GA’larda sıklıkla kullanılan seçim politikaları şu şekildedir:

- **Uygunluğa Dayalı Seçim:** Uygunluğa dayalı seçimde, yeni nesil popülasyondaki en düşük uygunluk değerine sahip bireylerin yerini alma eğilimindedir. En az uygun bireylerin seçimi, daha önce açıklanan seçim yöntemlerinin herhangi biriyle gerçekleştirilebilir. Bu seçim politikası Şekil 3.16’da özetlenmiştir.



Şekil 3.16 Uygunluğa dayalı seçim işlemi

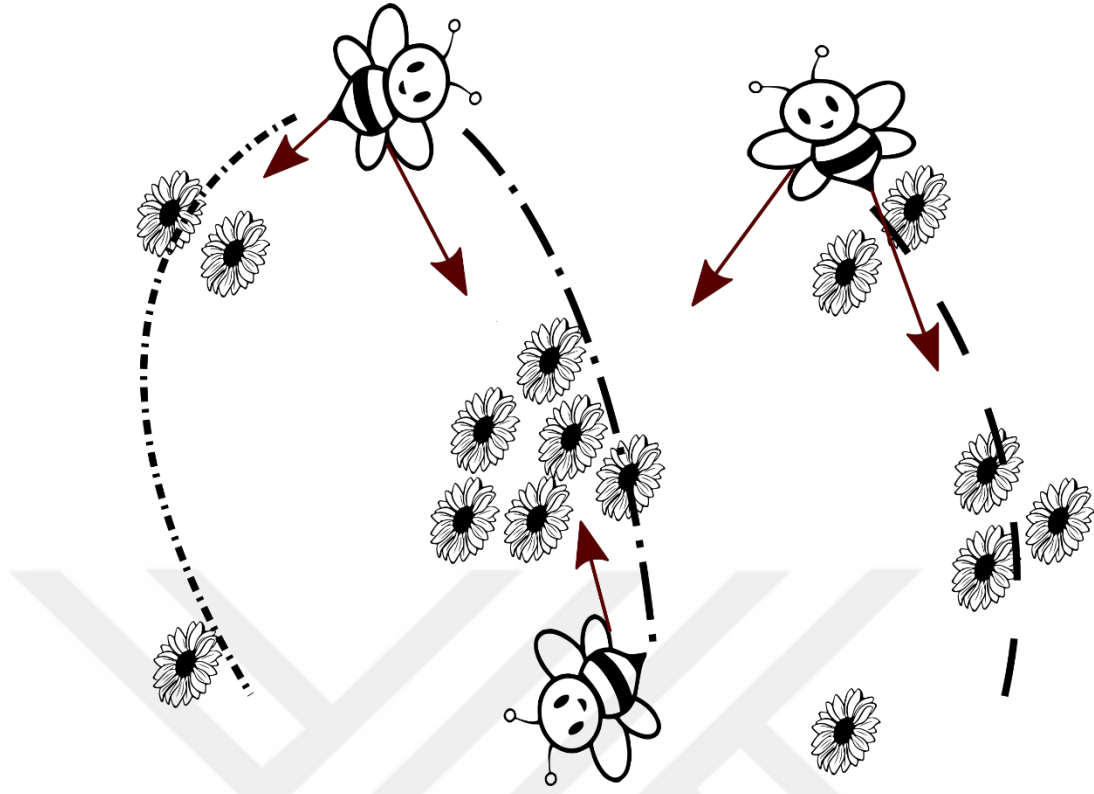
- **Yaş Bazında Seçim:** Yaşa dayalı seçim politikasında herhangi bir uygunluk gözetilmez. Yaşlanan bireylerin gerekli genetik materyallerini yeni nesillere yeteri kadar aktardığı varsayılarak belli bir yaştan sonra uygunluk değerine bakılmaksızın mevcut popülasyondan çıkartılır.



Şekil 3.17 Yaş bazında seçim işlemi

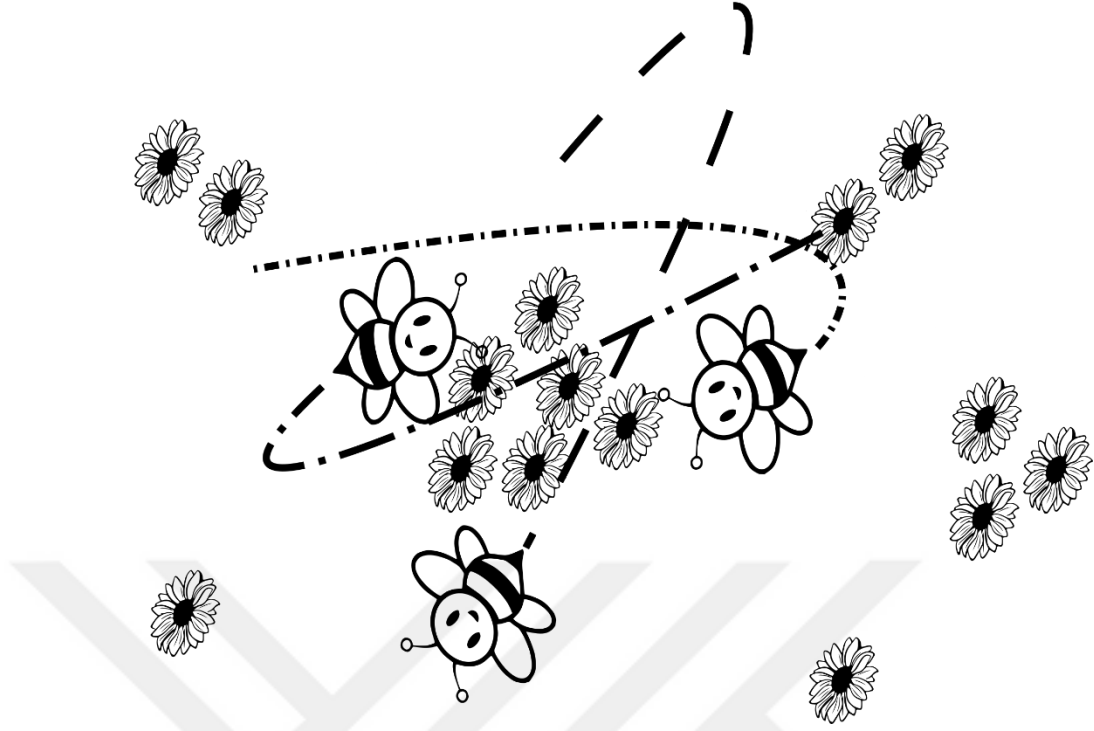
3.2 Parçacık Sürü Optimizasyonu

Parçacık sürü optimizasyonu, sürü zekâsı, kolektif zekâ ve hesaplamalı zekânın bir alt dalı olan kuvvetli bir arama algoritmasıdır. Karınca kolonisi optimizasyonu gibi diğer sürü zekâsı temelli algoritmalarla birçok benzerlik göstermektedir. Bu optimizasyon yöntemi doğada topluca hareket eden canlıların davranışlarından esinlenilerek geliştirilmiştir (Kennedy ve Eberhart 1995). Örneğin, bir arı sürüsünün davranışları incelendiğinde amaçlarının, çiçek yoğunluğunun en yüksek olduğu yeri bulmak olduğu gözlenir. Çiçek yoğunluğunun en yüksek olduğu alan hakkında herhangi bir bilgiye sahip olmayan arılar, rastgele konumlarda rastgele hızlarda çiçek aramaya başlarlar. Her arı en çok çiçek bulunduğu yerleri hatırlar ve bir şekilde diğer arılardan onların da bolca çiçek bulunduğu yerleri öğrenebilir. Şekil 3.18’de arıların polen toplarken sergilemiş oldukları bu davranış gösterilmektedir. Her arı kişisel olarak en çok çiçeği bulunduğu yere geri dönmek ya da başkaları tarafından belirlenen ve çok çiçek bulundurduğu bilinen bölgelere yönelmek arasında bir hareket sergiler.



Şekil 3.18 Yüksek yoğunluklu yere doğru hareket eden arılar

Yol boyunca, bir arı daha önce bulduğundan daha yüksek yoğunlukta çiçek içeren bir yer bulabilir. Daha sonra bu yeni çok çiçek barındıran konum o arının yeni kişisel en çok çiçek barındıran bölgesi olacaktır. Bazen bir arı, sürüdeki herhangi bir arının karşılaştığından daha fazla çiçeğe sahip bir yerin üzerinden uçabilir. Daha sonra tüm sürü, kendi kişisel keşiflerine ek olarak bu konuma doğru belirli bir oranda çekilecektir. Bu şekilde, arılar alanı keşfederler ve en yoğun noktaların üzerinden uçup sonra bu yoğun alanları uğrak noktaları haline getirirler. Sürekli olarak, çiçeklerin mutlak en yüksek yoğunluğunu bulmayı umarak, daha önce karşılaşılan en yüksek yoğunluğa sahip yerlere doğru uçarak bölgeyi kontrol ederler. Sonunda, arıların uçuşu onları tarlada en yüksek çiçek yoğunluğuna sahip tek yere götürür ve tüm arılar bu noktada toplanır. Daha yüksek çiçek yoğunluğuna sahip herhangi bir nokta bulunamadığında, Şekil 3.19’da görüldüğü gibi sürekli olarak bilinen en yüksek çiçek yoğunluğuna doğru uçarlar.



Şekil 3.19 En yüksek yoğunluğa toplanan arılar

3.2.1 Parçacık Sürü Optimizasyonun Terminolojisi

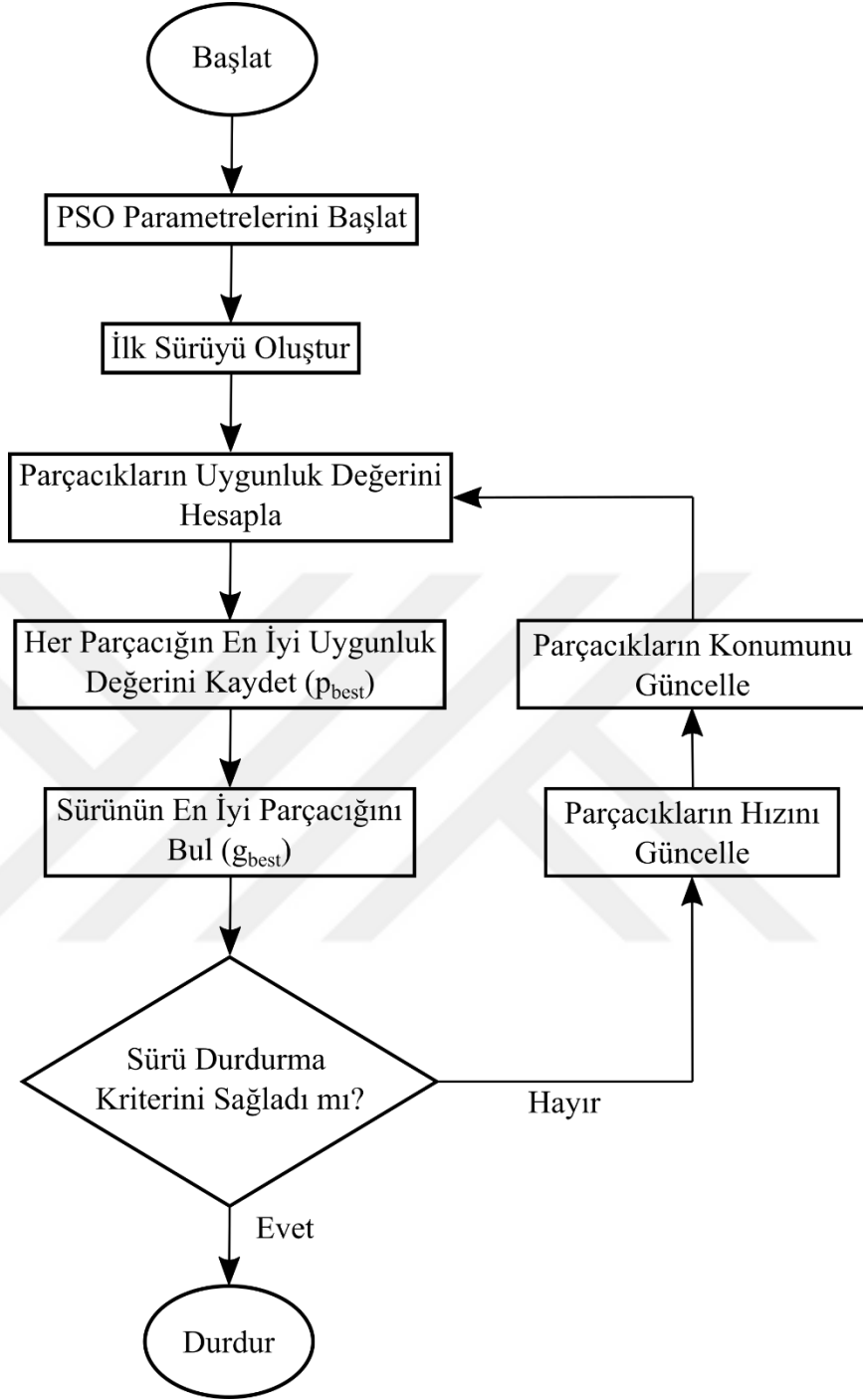
Parçacık sürü optimizasyonunda kullanılan terimleri anlamak için yukarıda arıların yiyecek araması ile yapılan benzetmedeki terimlerin açıklanması gerekir. Bu yöntemde kullanılan temel terimler şu şekildedir:

- **Parçacık/Ajan:** Sürüdeki her bir birey (örneğin arılar, balıklar) bir parçacık veya ajan olarak adlandırılır. Sürüdeki bütün parçacıklar aynı yönetim ilkesi altında ayrı ayrı hareket eder, aynı zamanda mevcut konumunun değerini sürekli kontrol ederken en iyi kişisel ve en iyi genel konuma doğru hızlanır.
- **Konum:** Yukarıda örneklendiği gibi bir parçacığın konumu, bir arının tarladaki konumu gibidir. İki boyutlu bir optimizasyon probleminde, parçacığın pozisyonu $x - y$ düzlemindeki koordinatlar gibi düşünülebilir. Fakat daha yüksek boyutlu problemlerde genelleme yapılarak parçacığın konumu herhangi bir boyutlu uzaya genişletebilir. Bu çok boyutlu uzay, optimize edilmekte olan problemin çözüm alanıdır ve herhangi bir koordinat seti problemin çözümünü temsil edebilir. Herhangi bir PSO uygulamasının ilk adımı optimizasyon

problemini, çözüm uzayındaki bir konumu temsil edebilecek bir dizi değer ile ifade etmektir.

- **Uygunluk Fonksiyonu:** Tüm optimizasyon yöntemlerinde olduğu gibi, bir çözümün iyiliğini değerlendirmek için bir amaç fonksiyonu olmalıdır. Amaç fonksiyonu, çözüm uzayındaki herhangi bir konumu almalı ve bu konumun değerini temsil eden bir uygunluk değeri üretmelidir. Yukarıdaki benzetmede, amaç fonksiyonu basitçe çiçeklerin yoğunluğu olacaktır: Yoğunluk ne kadar yüksekse, konum o kadar iyi olur. Uygunluk fonksiyonu, fiziksel problem ile optimizasyon algoritması arasındaki ara yüzü tanımlamaktadır.
- **Kişisel En İyi Konum (p_{best}):** Her arı, kişisel olarak en çok çiçekle karşılaştığı yeri hatırlar. Bir arı tarafından keşfedilen en yüksek uygunluk değerine sahip bu konum, kişisel en iyi konum olarak adlandırılır. Her arının uçtuğu yola göre belirlenen kendi p_{best} 'i vardır. Arı, uçuş güzergâhının her noktasının uygunluk değerini p_{best} 'i ile karşılaştırır. Arının bulunduğu konum daha yüksek bir uygunluk değerine sahipse, p_{best} mevcut konumu ile değiştirilir.
- **Küresel En İyi Konum (g_{best}):** Her arı kişisel en iyi konumunun yanı sıra sürü tarafından keşfedilen en yüksek çiçek yoğunluğuna sahip konumu da bilir. Karşılaşılan en yüksek uygunluğa sahip bu konum, küresel en iyi konum olarak adlandırılır ve her arı bu konuma doğru belirli bir oranda hareket eder. Her arı, yolunun her noktasında mevcut konumunun uygunluğunu g_{best} 'in uygunluk değeri ile karşılaştırır. Herhangi bir arı daha yüksek uygunluğa sahip bir konumdaysa, g_{best} o arının mevcut konumu ile değiştirilir.

PSO algoritmasının akış şeması Şekil 3.20'de ve sözde kodu Şekil 3.21'de sunulmuştur.



Şekil 3.20 Parçacık sürü optimizasyonunun akış şeması

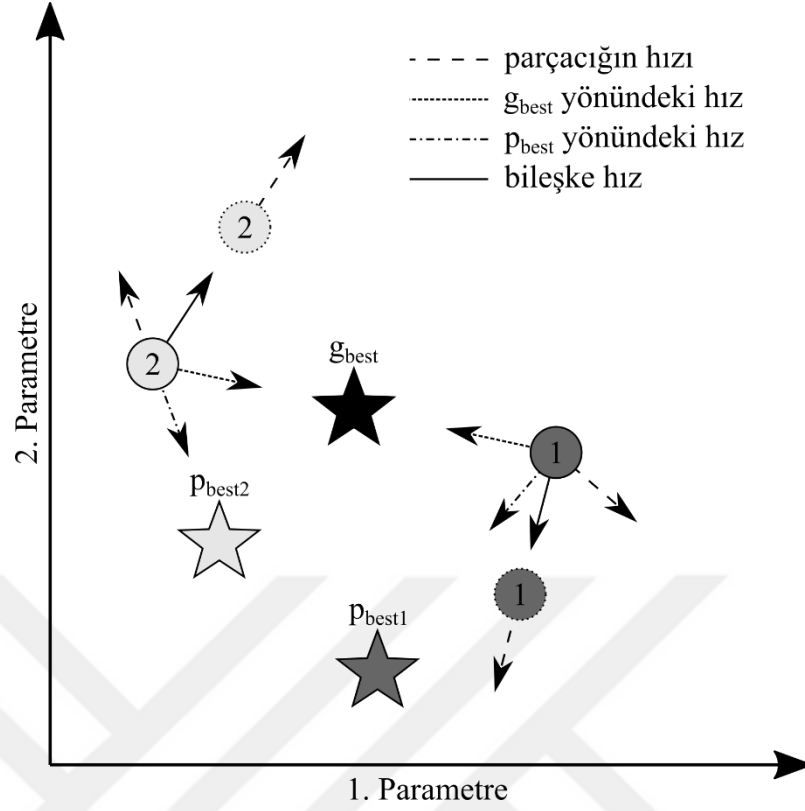
```
Rastgele bir başlangıç sürüsü oluştur
Her parçacığın başlangıç konumunu kendi en iyisi ( $p_{best}$ ) olarak ata
Sürünün küresel en iyisini ( $g_{best}$ ) hesapla
while (sonlandırma ölçütüne ulaşıncaya kadar)
    for ( $i = 1$ 'den parçacık sayısına kadar)
        if (mevcut konum  $p_{best}$ 'den iyiyse)
            Parçacığın yeni  $p_{best}$ 'i olarak ata
        if (mevcut konum  $g_{best}$ 'den iyiyse)
            Sürünün yeni  $g_{best}$ 'i olarak ata
    endfor
endwhile
return  $p_{best}$ 
```

Şekil 3.21 Parçacık sürü optimizasyonunun sözde kodu

Algoritmanın çalışma şekli kısaca aşağıdaki adımlarla özetlenebilir:

Rastgele Sürü Konumunun ve Hızlarının Başlatılması: Algoritma başlangıcında her parçacık için rastgele konum, hız ve yön değerleri atanır. Başlangıç konumu, çalışmanın başlangıcında her parçacığın karşılaştığı tek konum olduğu için bu konum her parçacığın ilgili p_{best} 'i olur. Sürünün ilk g_{best} 'i ise tüm parçacıkların başlangıç konumları arasından seçilir.

Parçacıkları Çözüm Uzayında Hareket Ettirilmesi: Her parçacık, sürüdeki arıların yaptığı gibi arama uzayında hareket ettirilmelidir. Algoritma, her iterasyonda her bir parçacığın konumunu parçacıkların hızlarına göre günceller. Aşağıda verilen işlemler her parçacık için ayrı ayrı uygulanır.



Şekil 3.22 Bireysel parçacıkların hareketinin gösterimi

a) Parçacıkların Uygunluğunun Değerlendirilmesi: Çözüm uzayında parçacığın koordinatlarını kullanan uygunluk fonksiyonu, her parçacığın mevcut konumuna atanacak bir uygunluk değeri döndürür. Bu değer söz konusu parçacığın p_{best} 'inden veya sürünün g_{best} 'inden daha iyiye, parçacığın p_{best} 'i veya sürünün g_{best} 'i parçacığın mevcut konumuyla değiştirilir.

b) Parçacıkların Hızlarının Güncellenmesi: Parçacıkların hızlarının güncellenmesi parçacık sürü optimizasyonunun temel unsurudur. Bir parçacığın hızı, (3.1) denkleminde verilene benzer bir formülle parçacığın p_{best} 'inin ve sürünün g_{best} 'inin konumlarına göre güncellenir.

$$v_{n+1} = w * v_n + c_1 * rand() * (p_{best,n} - x_n) + c_2 * rand() * (g_{best,n} - x_n) \quad (3.1)$$

Burada x_n ve v_n sırasıyla parçacığın mevcut konumunu ve hızını temsil eder. Bu denklemden anlaşılacağı üzere, parçacığın yeni hızı, basitçe, parçacığın p_{best} 'ine ve

sürünün g_{best} 'ine göre ölçeklenen mevcut hızıdır. c_1 ve c_2 , sırasıyla, p_{best} ve g_{best} 'in parçacığı ne kadar “çekeceğini” belirleyen ölçeklendirme faktörleridir. Bunlar literatürde, sırasıyla, bilişsel ve sosyal oranlar olarak adlandırılır. c_1 , parçacığın kendi belleğinden ne kadar etkilendiğini belirlerken c_2 , parçacığın sürünün geri kalanından ne kadar etkilendiğini belirler. c_1 'in artırılması, her parçacık kendi p_{best} 'ine doğru hareket etmesini ve dolayısıyla çözüm uzayının keşfedilmesini teşvik eder. Artan c_2 ise, parçacığın sürünün g_{best} 'ine doğru hareket etmesini dolayısıyla yakınsamayı teşvik eder.

$rand()$ fonksiyonuyla ifade edilen rastgele sayı seçme işlemi genellikle 0 ile 1 arasından yapılır. Çoğu PSO algoritması g_{best} ve p_{best} 'in göreceli çekimini stokastik olarak değiştirmek için iki bağımsız rastgele sayı kullanır. Optimizasyona rastgele bir ögenin dâhil edilmesi, doğal sürü davranışının atalet ağırlığı olarak adlandırılan (w) davranışın benzetimini amaçlamaktadır ve bu sayı da 0 ile 1 arasında seçilir. Bu bileşen parçacığın g_{best} ve p_{best} 'in çekiminden etkilenmeden mevcut seyrinde ne ölçüde kaldığını belirler. Sürünün g_{best} 'inden veya kendi p_{best} 'inden en uzak parçacıklar, ilgili konumlardan en büyük çekişi hissederler ve bu nedenle bu konumlara daha yakın olan bir parçacığa göre daha hızlı hareket ederler. Bunun sonucunda parçacık, bu konumların üstünden geçene kadar en uygun konumların yönünde hız kazanmaya devam eder ve ancak bu konumları geçtikten sonra ters yönde geri çekilmeye başlarlar. Parçacık sürü optimizasyonun başarısı bu “aşırı uçma” eylemine bağlanmaktadır (Kennedy ve Eberhart, 1997).

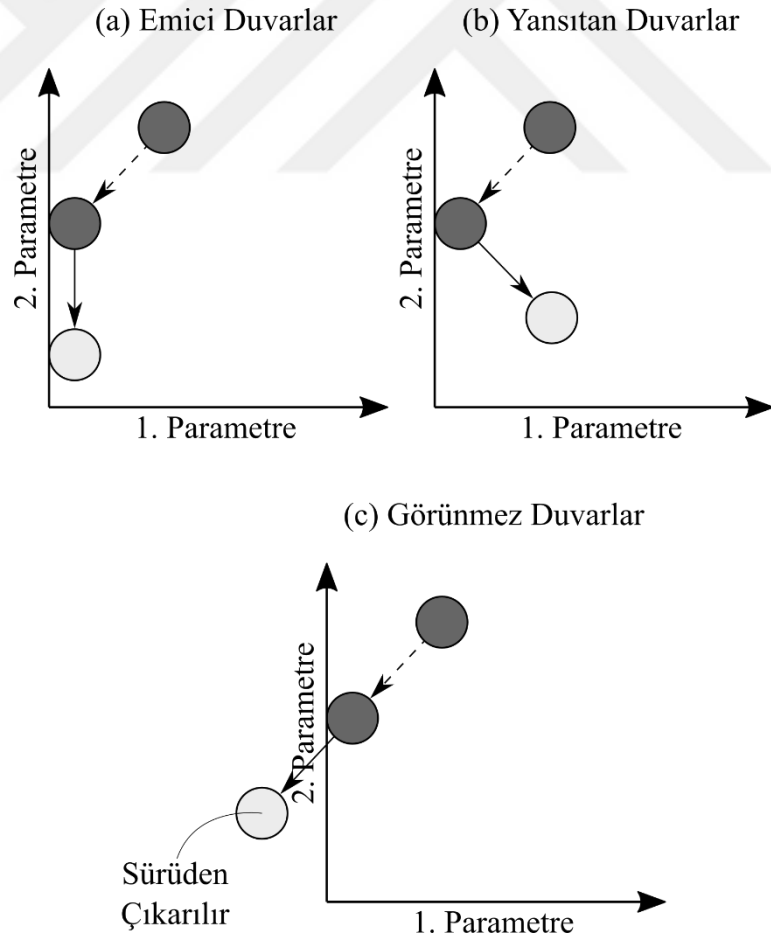
Uygulamalarda göz önünde bulundurulması gereken önemli bir husus, sürünün arama uzayını yeteri kadar kontrol edebilme yeteneğidir. Parçacıkların hızları üzerinde herhangi bir kısıtlama konulmadığı zaman, parçacıklar çok hızlı hareket edebilir ve fiziksel olarak anlamlı çözüm uzayını çok çabuk terk edebilir. Ayrıca parçacıkların gereğinden hızlı hareket etmesi Δt süresinde parçacıkların fazla mesafe kat etmesine yol açabilir ve bunun sonucunda yerel ya da global çözümlerin bulunduğu alanlar parçacıklar tarafından hiç keşfedilmeyebilir. Bu problemi çözenin en basit yolu, parçacıkların hızlarını azami bir v_{max} değeri ile sınırlandırmaktır. Optimizasyon parametrelerinin (c_1 , c_2 ve w) ve v_{max} değerinin seçilmesi, parçacıkların arama uzayında ne şekilde hareket edeceğini belirlediği için optimizasyonun başarısını doğrudan etkiler ve optimizasyon probleminin doğasına göre seçilir.

c) Parçacıkların Hareket Ettirilmesi: Parçacıkların yeni hızları belirlendikten sonra parçacığın bir sonraki konumuna taşınması gerekir. Parçacığın belirlenen doğrultuda Δt süresince sabit hızla hareket ettiği varsayılır ve parçacığın yeni konumu (3.2) denklemi ile hesaplanır.

$$x_{n+1} = x_n + \Delta t * v_n \quad (3.2)$$

3.2.2 Sınır şartları

Parçacıklar arama uzayında sürekli hareket halinde oldukları için arama uzayının sınırlarına ulaştıklarında nasıl bir davranış sergileyeceklerinin algoritmaya tanımlanması gerekir. Literatürde, parçacıklar için genellikle aşağıda verilen üç farklı sınır davranış şekli bulunmaktadır:



Şekil 3.23 Parçacıkların Sınır Davranışları

1) Emici Duvarlar: Bir parçacık boyutlardan birinde arama uzayının sınırına ulaştığında, bu boyuttaki hızı sıfırlanır ve parçacığın bu boyutta daha fazla ilerlemesinin önüne geçilir. Dolayısıyla ilerleyen iterasyonlarda parçacık izin verilen arama uzayına doğru geri çekilir. Bu anlamda emici duvarlar çözüm uzayından çıkmaya çalışan parçacıkların enerjisini emer.

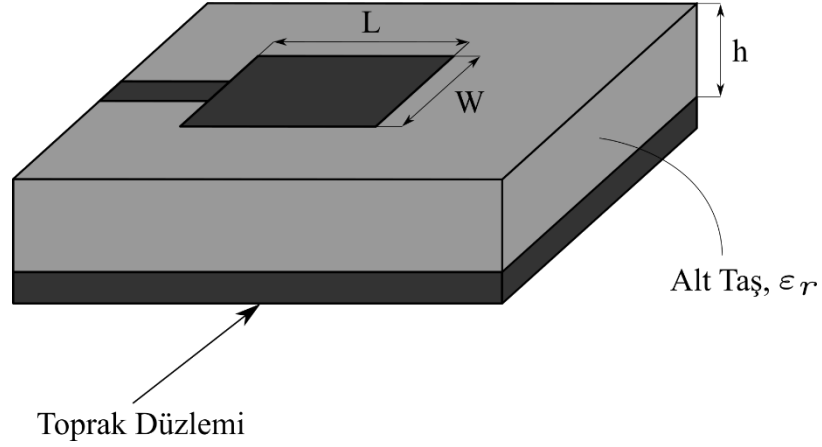
2) Yansıyan Duvarlar: Bir parçacık boyutlardan birinde sınıra ulaştığında, o boyuttaki hızın işareti değiştirilir ve parçacık arama uzayına doğru geri yansıtılır.

3) Görünmez Duvarlar: Parçacıkların herhangi bir fiziksel kısıtlama olmaksızın uçmasına izin verilir. Ancak, izin verilen arama uzayının dışında dolaşan parçacıklar uygunluk açısından değerlendirilmez. Neredeyse tüm mühendislik uygulamalarında, algoritmanın hesaplama açısından pahalı olan kısmı uygunluk değerlendirmesidir. Bu tekniğin arkasındaki motivasyon, sürünün doğal hareketine müdahale etmeden, yalnızca izin verilen çözüm alanında ne olduğunu değerlendirerek hesaplama süresinden tasarruf etmektir.

3.3 Mikroşerit Antenler

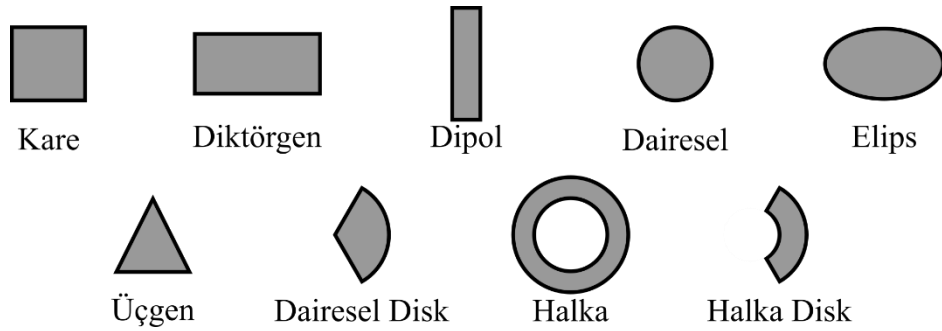
Son yıllarda mikroşerit antenler uzay araçları, uçaklar, radarlar, uydu haberleşmesi, güdümlü mermi gibi birçok askeri alanda sıklıkla tercih edilmektedir. Tercih edilmelerinin temel sebepleri ise; basit fiziksel yapıları ve baskı devre teknolojisi ile kolay üretim imkânının olmasıdır. Mikroşerit antenler bu özellikleri ile mikrodalga antenler arasında oldukça popüler bir konu haline gelmiştir (Balanis 2015).

En basit haliyle Şekil 3.24'de gösterildiği gibi mikroşerit antenlerin yapısı bir toprak düzlemi üzerinde bir yalıtıcıdan ve onun üzerinde bulunan iletken ışıma alanından meydana gelir.



Şekil 3.24 Dikdörtgen şekilli mikroşerit anten

Mikroşerit antenler, diğer mikrodalga devreleri ile birlikte tümleşik olarak üretilebildiği için çeşitli geometrik yapılarda tasarlanabilir. Analiz ve performans tahminini basitleştirmek için yama geometrisi Şekil 3.22'de gösterildiği gibi genellikle kare, dikdörtgen, dairesel, üçgen, eliptik gibi geometrik yapılar ile tasarlanabilir. Dikdörtgen bir yama için, yamanın uzunluğu L genellikle $0.3333\lambda_0 < L < 0.5\lambda_0$ olacak biçimde tercih edilir. İfadede verilen λ_0 , boş uzay dalga boyudur. Alt taş yüksekliği h genel olarak $0.003\lambda_0 \leq h \leq 0.05\lambda_0$ 'dır. ϵ_r dielektrik sabiti mikroşerit antenler için $2.2 \leq \epsilon_r \leq 12$ aralığındadır.



Şekil 3.25 Çeşitli şekillerde mikroşerit antenler (Balanis 2015)

Mikroşerit antenler, öncelikle yama kenarı ile zemin düzlemi arasındaki saçaklanma alanı sebebi ile yayılım sağlar. İyi bir anten performansı elde etmek için, düşük dielektrik sabitine sahip kalın bir alt taş tercih edilir, bu sayede daha iyi verim, daha geniş bant genişliği ve daha iyi ışıma sağlanır (Balanis 2015). Bununla birlikte, böyle

bir yapılandırma daha büyük bir anten boyutuna yol açar. Küçük boyutlu bir mikroşerit anten tasarlamak için, daha düşük verimli ve daha dar bant genişliğine sebep olan daha yüksek dielektrik sabitli malzeme kullanılmalıdır.

Mikroşerit Antenlerin Olumlu ve Olumsuz Yönleri

Mikroşerit antenler 100 MHz'den 50 GHz'e kadar geniş bir frekans aralığında kullanılabilir. Bu antenlerin diğer mikrodalga antenlerine göre birçok olumlu yönü bulunmaktadır. Bunlar şu şekilde sıralanır:

- Hafif ve küçük hacimli yapıları.
- Düşük üretim maliyet.
- Düzlemsel biçimlilik.
- Çok ince biçimli yapıları sayesinde uzay araçlarının aerodinamik yapısını bozmaz.
- Gülümlü mermiler, roketler ve uydular üzerine önemli değişikliklere neden olmaksızın monte edilebilmesi.
- Düşük saçılma ara kesitine (scattering cross section) sahiptir.
- Doğrusal ve dairesel kutuplanmış ışımaya yapabilir.
- Basit yapısal değişikliklerle çift frekansta ışımaya yapabilir.
- Besleyici hatlar ve uyumlandırma devreleri ile birlikte eş zamanlı üretilebilir.

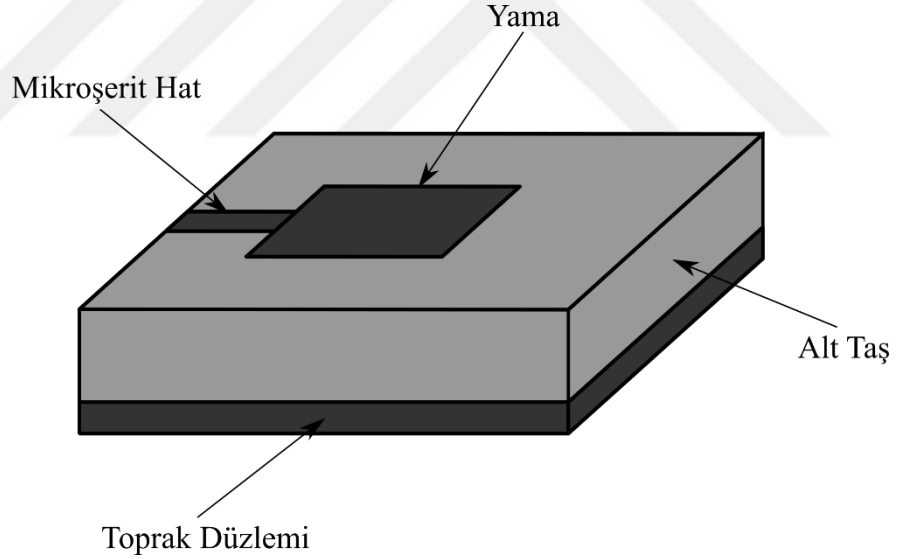
Mikroşerit antenlerin yukarıda bahsi geçen avantajlarının yanında bazı olumsuz yönleri de bulunmaktadır. Bunlar şu şekilde sıralanır:

- Dar bant genişliğinde çalışma.
- Çeşitli kayıplar nedeniyle düşük kazançlı olma.
- Birçoğunun yarı düzlem içinde ışımaya yapma.
- -20 dB olan en üst kazancın elde edilmesinde bazı güçlükler olması.
- Besleme ve ışımaya elemanları arasında zayıf yalıtım bulunması.
- Yüzeysel dalgaları uyarımının gerçekleşebilmesi,
- Düşük güç ile çalışabilme (Yazgan 1987).

3.3.1 Besleme yöntemleri

Mikroşerit antenler çeşitli yöntemlerle beslenebilir. Temaslı ve temassız olmak üzere bu yöntemler iki kategoriye ayrılmaktadır. Temaslı besleme yönteminde, elektriksel enerjinin taşındığı mikroşerit hat doğrudan yamaya bağlanmaktadır. Temassız besleme yönteminde ise elektriksel enerji aktarımı, mikroşerit hat ile yama arasında elektromanyetik kuplaj ile yapılmaktadır (Balanis 2015). Kullanılan en yaygın dört besleme yöntemi mikroşerit hattı, koaksiyel (eşeksenli) prob, açıklık bağlama ve yakınlık kuplajıdır.

Mikroşerit Hat Beslemesi: Mikroşerit hat beslemesinde, bir iletken şerit, Şekil 3.26'da gösterildiği gibi, yamanın kenarına doğrudan bağlanır. İletken şeridin genişliği, yama ile karşılaştırıldığında oldukça küçüktür ve bu besleme şekli, düzlemsel bir yapı sağlamak için beslemenin aynı alt tabaka üzerinde oyulabilmesi üstünlüğüne sahiptir.



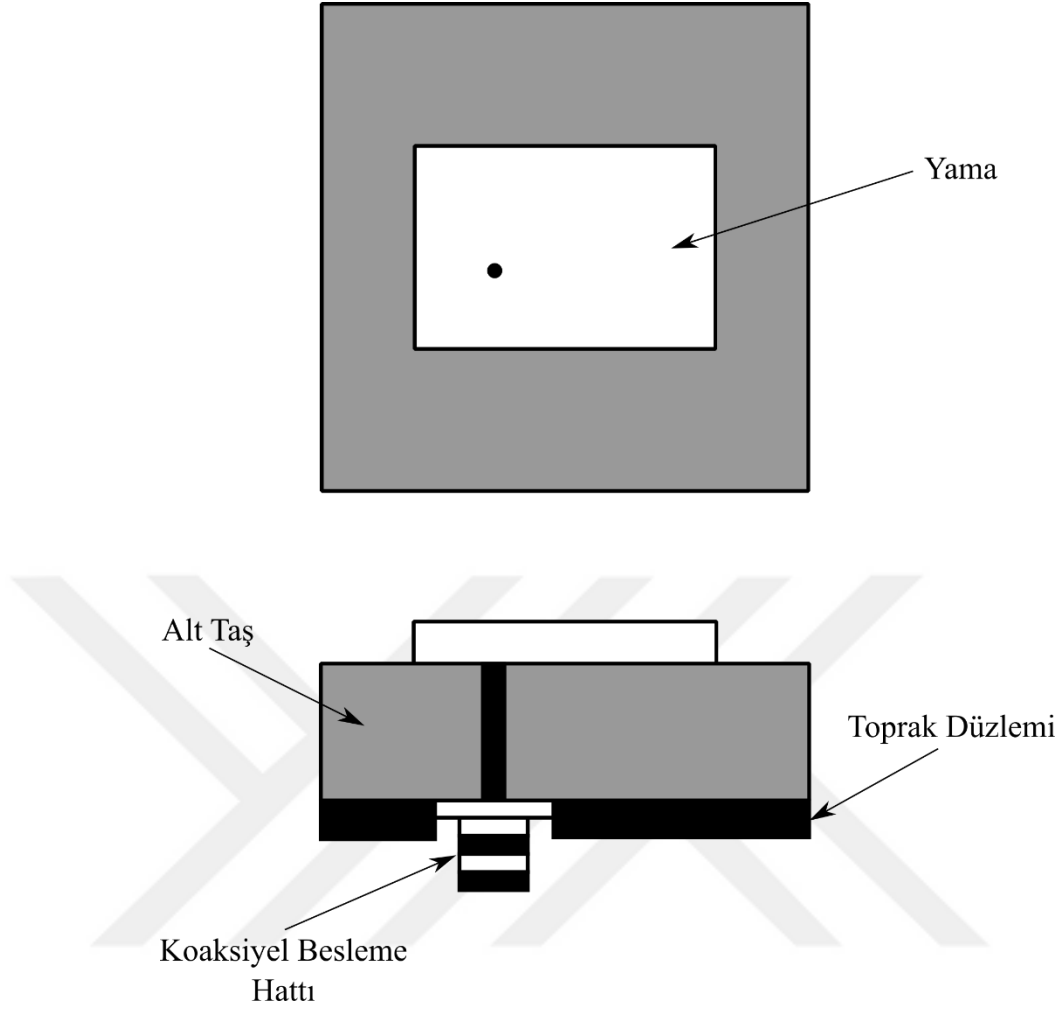
Şekil 3.26 Mikroşerit hat besleme

Yamadaki gömme kesimin amacı, besleme hattının empedansını herhangi bir ek eşleştirme elemanına ihtiyaç duymadan yama ile eşleştirmektir. Bu, gömme konumun doğru şekilde kontrol edilmesiyle elde edilir. Dolayısıyla, empedans eşleştirmesinin yanı sıra modellemede imalat kolaylığı ve basitlik sağladığı için kolay bir besleme yöntemi olarak tercih edilir. Bununla birlikte, kullanılan dielektrik malzemenin kalınlığı

arttıkça, yüzey dalgaları ve sahte besleme radyasyonu da artar, bu da antenin bant genişliğini engeller (Balanis 2015). Besleme ışması ayrıca istenmeyen çapraz kutuplanma ışmasına yol açar.

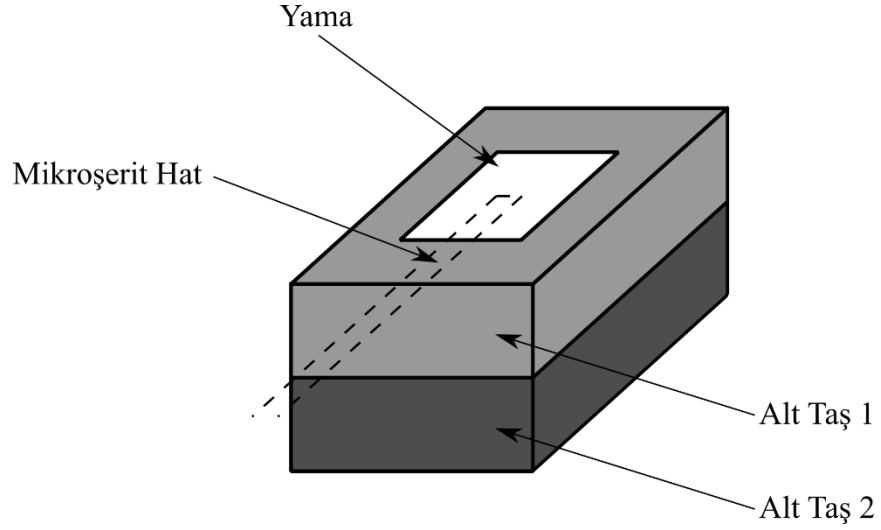
Koaksiyel (Eşeksenli) Prob Besleme: Koaksiyel (eşeksenli) besleme veya prob beslemesi, mikroşerit antenleri beslemek için kullanılan diğer bir yöntemdir. Şekil 3.27'de görüldüğü gibi, koaksiyel (eşeksenli) bağlayıcının iç iletkeni dielektrik boyunca uzanır ve yayılan parçaya lehimlenirken, dış iletken yer düzlemine bağlanır.

Bu tür besleme düzeninin temel avantajı, beslemenin giriş empedansına uyması için yama içinde istenen herhangi bir yere yerleştirilebilmesidir. Bu besleme yönteminin imal edilmesi kolaydır ve düşük yapay radyasyona sahiptir (Balanis 2015). Bununla birlikte, en büyük dezavantajı, dar bant genişliği sağlaması ve alt tabakada bir delik açılması gerektiğinden ve konektörün zemin düzleminin dışına çıkması nedeniyle modellenmenin zor olmasıdır. Ayrıca, daha kalın alt tabakalar için, artan prob uzunluğu giriş empedansını daha endüktif hale getirerek eşleştirme sorunlarına yol açar (Kumar vd 2003). Yukarıda, daha geniş bant genişliği sağlayan kalın bir dielektrik malzeme için mikroşerit hattı beslemesinin ve koaksiyel (eşeksenli) beslemenin çok sayıda olumsuzluğa sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 3.27 Koaksiyel (Eşeksenli) besleme

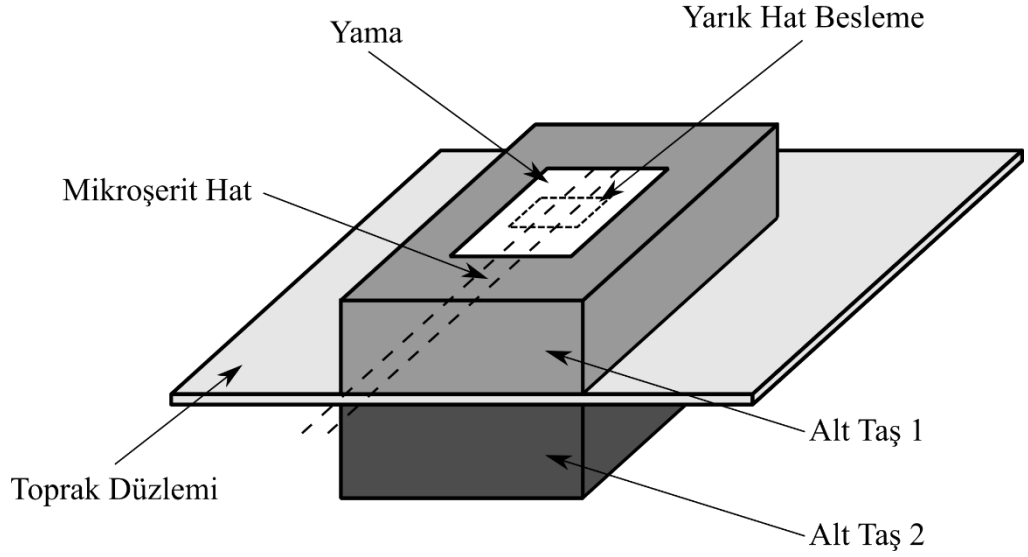
Sandviç Tekniği ile Besleme: Bu tür besleme yönteminde, yayılan yama ve mikroşerit besleme hattı, Şekil 3.28'de gösterildiği gibi toprak düzlemi ile ayrılır. Yama ile besleme hattı arasındaki bağlantı, toprak düzlemindeki bir yarık veya açıklıktan yapılır. Bağlantı açıklığı genellikle yamanın altında ortalanır, bu da yapılandırma simetrisinden dolayı daha düşük çapraz kutuplaşmaya yol açar. Besleme hattından parçaya olan bağlantı miktarı, açıklığın şekli, boyutu ve konumu ile belirlenir. Yer düzlemi yama ve besleme hattını ayırdığı için sahte ışımaya en aza indirilir. Genel olarak, alt tabaka için yüksek bir dielektrik malzeme kullanılır ve yamadan yayılan ışımayı optimize etmek amacıyla üst tabaka için kalın, düşük dielektrik sabitli bir malzeme kullanılır. Bu besleme tekniğinin en büyük olumsuzluğu”, birden çok katmandan dolayı imal edilmesinin zor olması ve bu da anten kalınlığının artmasıdır. Bu besleme yöntemi dar bant genişliği sağlar (Balanis 2015).



Şekil 3.28 Sandviç tekniği ile besleme

Yarık Hat ile Toprak Düzleminden Besleme: Bu tür besleme tekniği, elektromanyetik bağlantı şeması olarak da adlandırılır. Şekil 3.29'da gösterildiği gibi, iki dielektrik malzeme, besleme hattı iki dielektrik malzeme arasında olacak ve ışıma yapan yama, üst dielektrik malzemenin üstünde olacak şekilde düzenlenir. Bu besleme tekniğinin ana olumlu tarafı, sahte besleme ışımalarını ortadan kaldırması ve mikroşerit yama antenin kalınlığındaki genel artış nedeniyle çok yüksek bant genişliği (% 13 kadar yüksek) (Balanis 2015) sağlamasıdır. Bu yöntem ayrıca, bireysel performansları optimize etmek amacıyla yama ve besleme hattı için olmak üzere iki farklı dielektrik ortam sağlar.

Eşleştirme, besleme hattının uzunluğu ve yamanın genişlik-çizgi oranı kontrol edilerek sağlanabilir. Bu besleme yönteminin en büyük olumsuzluğu, uygun hizalamaya ihtiyaç duyan iki dielektrik katman nedeniyle imal edilmesinin zor olmasıdır. Ayrıca, bu durum antenin toplam kalınlığında bir artışa sebep olur.



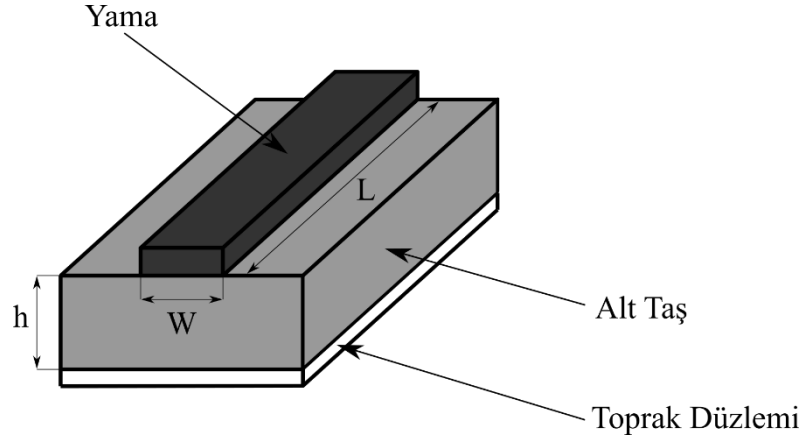
Şekil 3.29 Yarık hat ile toprak düzleminden besleme

3.3.2 Analiz yöntemleri

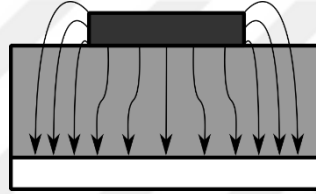
Mikroşerit yama antenlerinin analizi için en iyi bilinen modeller iletim hattı modeli, boşluk modeli ve tam dalga modelidir (Balanis 2015). İletim hattı modeli en basit olanıdır, ancak daha düşük doğrulukla hesaplama imkânı sağlar. Boşluk yöntemi daha yüksek doğrulukla analiz sağlar, fakat doğası gereği karmaşıktır. Tam dalga modeli ise son derece hassas ve çok yönlüdür. Tekli elemanları, sonlu ve sonsuz dizileri, yığılmış elemanları, rastgele şekilli elemanları ve bağlantıları analiz edebilir.

İletim Hattı Yöntemi: Bu yöntem, mikroşerit anteni, L uzunluğunda bir iletim hattıyla ayrılmış, W genişliğinde ve h yüksekliğinde iki yuva ile temsil eder. Mikroşerit, esasen iki dielektrik malzeme olarak alt taş ve havanın oluşturduğu bir yapıdır.

Bu nedenle, Şekil 3.31'de görüldüğü gibi, elektrik alan çizgilerinin çoğu alt taşta ve havadaki hatların bazı kısımlarında bulunur. Sonuç olarak, bu iletim hattı Enine Elektrik ve Manyetik (TEM) iletim modunu destekleyemez, çünkü faz hızları havada ve alt tabakada farklı olacaktır. Bunun yerine, baskın yayılma modu, yarı-TEM modunu destekler. Bu nedenle, hattaki saçaklanmayı ve dalga yayılımını hesaba katmak için etkin dielektrik sabiti (ϵ_{reff}) elde edilmelidir.



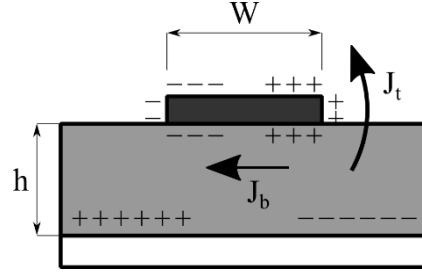
Şekil 3.30 Mikroşerit hat geometrisi



Şekil 3.31 Elektrik alan çizgilerinin bozunumu

Yuva (Kavite) Yöntemi: İletim hattı modelinin kullanımı kolay olmasına rağmen, bazı olumsuz yönleri vardır. Özellikle, dikdörtgen tasarımlı yamalar için kullanışlıdır ve yayılan kenarlar boyunca alan değişikliklerini göz ardı eder. Bu dezavantajlar boşluk modeli kullanılarak giderilebilir. Bu modelde, dielektrik alt tabakanın iç bölgesi, üstte ve altta elektrik duvarları ile sınırlanan bir boşluk olarak modellenmiştir. Bu varsayımın temeli, ince alt tabakalar ($h \ll \lambda$) için aşağıdaki gibidir (Garg vd. 2001).

- Alt taş ince olduğu için, iç bölgedeki alanlar z-yönünde çok fazla değişmez, yani yama için normaldir.
- Elektrik alanı yalnızca z boyunca yöneltilmiştir ve manyetik alan, yama metalizasyonu ve zemin düzlemi tarafından sınırlanan bölgede yalnızca enine bileşenlere H_x ve H_y sahiptir. Bu gözlem, üstte ve altta elektrik duvarları sağlar.



Şekil 3.32 Boşluk yönteminin geometrisi

Yukarıda gösterilen Şekil 3.32’de yamaya güç sağlandığında, yamanın üst ve alt yüzeylerinde ve toprak düzleminin altında bir yük dağılımı görülür. Bu yük dağılımı, bir Coulomb çekme ve itme mekanizması tarafından kontrol edilir (Richards 1998). Çekici mekanizma, yamanın alt tarafındaki zıt yükler ile yamanın altındaki yük yoğunluğunun bozulmadan kalmasına yardımcı olan yer düzlemi arasındadır. İtme mekanizması, yamanın alt yüzeyindeki benzer yükler arasındadır ve bu, bazı yüklerin alt taraftan yamanın üstüne itilmesine neden olur. Bu yük hareketinin bir sonucu olarak, elektriksel akımlar yamanın üst ve alt yüzeyinde akar. Boşluk modeli, yükseklik-genişlik oranının (yani alt tabaka yüksekliği ve yamanın genişliği) çok küçük olduğunu varsayar ve bunun sonucu olarak çekici mekanizma etkin olur. Ayrıca yük konsantrasyonunun çoğunun ve akımın yama yüzeyinin altında olmasına neden olur. Yamanın üst yüzeyinde çok daha az akım akacak ve yükseklik-genişlik oranı daha da azaldıkça, yamanın üst yüzeyindeki akım neredeyse sıfıra eşit olacak ve bu da herhangi bir teğet manyetik alan bileşeninin oluşturulmasına izin vermeyecektir. Bu nedenle, dört yan duvar, manyetik iletken yüzeyler olarak modellenebilir. Bu, yamanın altındaki manyetik alanların ve elektrik alan dağılımının bozulmayacağı anlamına gelir. Bununla birlikte, pratikte, sonlu bir genişlik-yükseklik oranı orada olacaktır ve bu, teğet manyetik alanları tamamen sıfır yapmayacaktır, ancak çok küçük oldukları için, yan duvarların mükemmel manyetik iletken olduğu tahmin edilebilir (Balanis 2015).

Tam Dalga Çözümleri-Moment Yöntemi: Mikroşerit antenler için tam dalga analizi sağlayan yöntemlerden biri Momentler Yöntemidir. Bu yöntemde, yamayı modellemek için yüzey akımları ve dielektrik levhadaki alanları modellemek için de hacim kutuplaması akımları kullanılır. Momentler Metodu kullanılarak bu elektrik alan integral denklemlerinin matris denklemlerine dönüştürüldüğü gösterilmiş ve bu

denklemler daha sonra çeşitli cebir teknikleri ile çözülebilen matris denklemlerine dönüştürülmüştür (Newman vd. 1981).

Moment Yöntemi (3.3) denkleminde verilmiştir:

$$F(g)=h \quad (3.3)$$

Burada F bilinen bir lineer operatördür, g bilinmeyen bir fonksiyondur ve h , kaynak veya uyarma fonksiyonudur. Buradaki amaç, F ve h bilindiği zaman g 'yi bulmaktır. Bilinmeyen g fonksiyonu, aşağıdakileri vermek üzere N terimin lineer bir kombinasyonu olarak genişletilebilir:

$$g = \sum_{n=1}^N a_n g_n = a_1 g_1 + a_2 g_2 + \dots + a_N g_N \quad (3.4)$$

Burada a_n bilinmeyen bir sabittir ve g_n genellikle temel veya genişleme fonksiyonu olarak adlandırılan bilinen bir fonksiyondur. Denklem (3.4)'ü denklem (3.5) yerine koyarak ve F operatörünün doğrusallık özelliğini kullanarak şunu yazabiliriz:

$$\sum_{n=1}^N a_n F(g_n) = h \quad (3.5)$$

3.3.3 Dikdörtgen şekilli mikroşerit antenin analizi

En yaygın olarak kullanılan anten geometrisi dikdörtgen şekilli mikroşerit anten yapılarıdır. Bu tez çalışmasında DMA için uzunluk " L ", genişlik " W " ve yükseklik " h " olacak biçimde fiziksel parametreleri optimize edilecektir.

Mevcut çalışmalarda DMA çalışma frekansını hesaplamak için önerilen pek çok deneysel ifade bulunmaktadır (Akdagli 2007). Çalışma frekansı f_r olacak şekilde (Kara 1996)'da belirtilen deneysel ifade α : düzenleme katsayısı, c_0 : EMD'nin hızı, L : yama uzunluğu, ΔW : iletken yamanın bir fonksiyonu, ϵ_{eW} : dielektrik katmanın geçirgenliği olarak denklem (3.6)'da verilmektedir.

$$f_r = \alpha \frac{c_0}{2(L+2\Delta W)\sqrt{\varepsilon_{eW}}} \quad (3.6)$$

ε_{eW} , ε_r : bağıl dielektrik sabiti, h : iletken yamanın yüksekliği W : iletken yamanın genişliği olacak şekilde denklem (3.7)'de verilen ifade ile hesaplanır.

$$\varepsilon_{eW} = \frac{(\varepsilon_r + 1)}{2} + \frac{(\varepsilon_r - 1)}{2} \left(1 + \frac{10h}{W}\right)^{-1/2} \quad (3.7)$$

ΔW alt taş kalınlığı (h), yamanın genişliği (W) parametrelerine bağlı bir fonksiyon olacak şekilde denklem (3.8)'de verilmektedir.

$$\Delta W = 0.412h \frac{(\varepsilon_{eW} + 0.300) \left(\frac{W}{h} + 0.264\right)}{(\varepsilon_{eW} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.813\right)} \quad (3.8)$$

α düzenleme katsayısı olarak verilir ve L_{eff} : yamanın etkin uzunluğu, h , ε_r parametreleri ile ilişkili olacak şekilde denklem (3.9)'te verilen ifade ile hesaplanır.

$$\alpha = \frac{h}{L_{eff}} \pi \sqrt{\varepsilon_r} \quad (3.9)$$

L_{eff} yamanın etkin uzunluğu olarak tanımlanır ve eş tabaka genişliği W_{eq} , ε_{eW} , L , W parametreleri ile ilişkili olarak denklem (3.10)'da sunulmuştur.

$$L_{eff} = L + \left(\frac{W_{eq} - W}{2}\right) \left(\frac{\varepsilon_{eW} + 0.300}{\varepsilon_{eW} - 0.258}\right) \quad (3.10)$$

W_{eq} eş tabaka genişliği olmak üzere boşluk ortamının empedansı R_0 , karakteristik hat empedansı (Z_{cW}), h , ε_{eW} parametreleri ile ilişkili olarak denklem (3.11)'de verilmektedir.

$$W_{eq} = \frac{hR_0}{Z_{cW}\sqrt{\varepsilon_{eW}}} \quad (3.11)$$

Z_{cw} ifadesi denklem (3.12) ve denklem (3.13)'de parçalı olarak verilmektedir.

$$Z_{cw} = \frac{R_0}{2\sqrt{\epsilon_r}} \left\{ \begin{array}{l} \frac{W}{2h} + 0.4413 + \frac{0.0823(\epsilon_r - 1)}{\epsilon_r^2} + \frac{(\epsilon_r + 1)}{\epsilon_r} \\ \left[-0.231 + 0.1592 \ln \left(\frac{W}{2h} + 0.94 \right) \right] \end{array} \right\}^{-1} \quad (3.12)$$

$W/h \geq 3.3$

$$Z_{cw} = \frac{R_0}{2\sqrt{\epsilon_r}} \left\{ \begin{array}{l} \frac{W}{2h} + 0.4413 + \frac{0.0823(\epsilon_r - 1)}{\epsilon_r^2} + \\ \frac{(\epsilon_r + 1)}{\epsilon_r} \left[-0.231 + 0.1592 \ln \left(\frac{W}{2h} + 0.94 \right) \right] \end{array} \right\}^{-1} \quad (3.13)$$

$W/h < 3.3$

R_0 , c_0 ifadeleri denklem (3.14) ve denklem (3.15)'de verilmektedir.

$$R_0 = 120\pi \Omega \quad (3.14)$$

$$c_0 = 3 \times 10^8 \text{ m/s} \quad (3.15)$$

Bant genişliği ifadesi belirli özelliklere göre antenin performansının belirli bir standarda uyduğu frekans aralığı şeklinde ifade edilmektedir. Mevcut çalışmalarda DMA'nın bant genişliğini empirik olarak hesaplayan pek çok çalışma bulunmaktadır. (Kara, 1996)'da verilen bant genişliği ifadesi denklem (3.16)'da sunulmuştur. Bant genişliği gerilim duran dalga oranının (GDDO) tolere edilebilen değeri ile ifade edilmektedir. Arzu edilen gerilim dalga duran oranı $GDDO < S$ ifadesi ile tanımlanır. BW ; Q_r : ışımanın toplam iyilik faktörü olmak üzere, μ : ışınım verimliliğidir ve P : düzeltme katsayısı ile ilişkili olarak tanımlanır.

$$BW = \frac{(S-1) \eta}{\sqrt{S}} \frac{P}{Q_r} \quad (3.16)$$

Q_r ; c_0 , ϵ_r , h , f_r parametreleri ile ilişkili olacak şekilde denklem (3.17)'de verilmektedir.

$$Q_r = \frac{c_0 \sqrt{\epsilon_r}}{4hf_r} \quad (3.17)$$

η ; P_r uzay dalgalarıyla yayılan güç değeri, P_s yüzey dalgalarıyla yayılan güç değeri parametreleri ile ilişkili olacak şekilde denklem (3.18)'de verilmektedir.

$$\eta = \frac{P_r}{P_r + P_s} 100 \quad (3.18)$$

P_r ve P_s boşluktaki dalga sayısı k_0 , R_0 , h ve ϵ_r parametreleri ile ilişkili olarak sırasıyla denklem (3.19) ve denklem (3.20)'de verilmektedir.

$$P_r \approx \frac{R_0 k_0^2 (k_0 h)^2}{3\pi} \left(1 - \frac{1}{\epsilon_r} + \frac{2}{5\epsilon_r^2} \right) \quad (3.19)$$

$$P_s = \frac{R_0 k_0^2 (\epsilon_r - 1)^3 (k_0 h)^3}{4 \epsilon_r^3} \quad (3.20)$$

k_0 ifadesi f_r ve c_0 parametrelerine bağlı olarak denklem (3.21)'de verilmektedir.

$$k_0 = \frac{2\pi f_r}{c_0} \quad (3.21)$$

P ifadesi Z_{0W} : hava yalıtkan hattın karakteristik empedansıdır, Z_{cW} parametrelerine bağlı olarak denklem (3.22)'de verilmektedir.

$$P = \frac{Z_{0W}}{Z_{cW}} \quad (3.22)$$

Z_{0W} ; R_0 , h , W parametreleri ile ilişkili olarak denklem (3.23) ve denklem (3.24)'de parçalı olarak hesaplanmaktadır.

$$Z_{0W} = \frac{R_0}{2\pi} \ln \left(\frac{4h}{W} + \sqrt{\frac{16h^2}{W^2} + 2} \right) \quad W/h \geq 3.3 \quad (3.23)$$

$$Z_{0W} = 60\pi \left[\frac{W}{2h} + 0.9033 + \frac{1}{\pi} \ln \left(\frac{W}{2h} + 0.94 \right) \right]^{-1} \quad W/h < 3.3 \quad (3.24)$$

Bir antenin giriş empedansı, anten bünyesindeki enerji aktarım verimliliğini doğrudan etkiler. Çalışma frekansı, alt tabakanın geçirgenliği ve kalınlığı, yama uzunluğu ve genişliği ve besleme noktasının konumu gibi anten parametrelerine göre değişir. Besleme noktası enerji transferinin verimliliğine olan etkileri nedeniyle yama ile besleme arasında iyi bir eşleşme sağlamak için doğru tespit edilmelidir. Literatürde, dielektrik malzeme kalınlığı $0.005\lambda_d$ ile $0.166\lambda_d$ arasında değişen alt tabakalara sahip dikdörtgen mikroşerit anten elemanları için giriş empedansının hesaplanması için, çeşitli analitik ve teorik yöntemler mevcuttur.

Giriş empedansı için gerekli ifade (3.25)'de verilmektedir (Kara 1996).

$$R_{in} = \frac{Q_T}{\pi \epsilon_0 \epsilon_r f_r} \frac{h}{WL} \cos^2 \left(\frac{\alpha \pi}{L} \right) \quad (3.25)$$

Anten elemanı kayıpları ile ilişkili toplam kalite faktörü Q_T olup, kenarlardan gelen ışıma, Q_r , iletken elemandaki ısınmadan kaynaklanan kayıp Q_c ve yer düzlemi ile dielektrik ortam içindeki ısınmadan kaynaklanan kayıplar sırası ile Q_d ve Q_T olarak (3.26)'da verilen ifade kullanılarak hesaplanabilir.

$$Q_T = (Q_r^{-1} + Q_c^{-1} + Q_d^{-1}) \quad (3.26)$$

Işıma faktörü Q_r denklem (3.27)'de verilmektedir.

$$Q_r = \frac{c_0 \sqrt{\epsilon_e W}}{4 f_r h} \quad (3.27)$$

Dielektrik ortam içindeki ısınmadan kaynaklanan kayıp Q_d denklem (3.28)'de verilmektedir.

$$Q_d = \tan^{-1} \delta \quad (3.28)$$

İletken kaybına bağlı Q_c faktörü denklem (3.29)'da verilmektedir.

$$Q_c = 7.86h \frac{Z_{0w}}{P_w} \quad (3.29)$$

P_w ifadesi P_{w1} ve P_{w2} parametrelerine bağlı olarak denklem (3.30)'da verilmektedir.

$$P_w = \frac{P_{w1}}{P_{w2}^2} \quad (3.30)$$

P_{w1} ve P_{w2} ifadeleri W ve h parametrelerine bağlı olarak sırasıyla denklem (3.31) ve denklem (3.32)'de verilmektedir.

$$P_{w1} = 2\pi \left[\frac{W}{h} + \frac{W}{\pi h} \left(0.94 + \frac{W}{2h} \right)^{-1} \right] \left[1 + \frac{h}{W} \right] \quad (3.31)$$

$$P_{w2} = \left[1 - \left(\frac{W}{h} \right)^2 \right] \left[1 + \frac{h}{W} \right] \quad (3.32)$$

Z_{0w} ; R_0 , h , W parametreleri ile ilişkili olarak denklem (3.33) ve denklem (3.34)'de parçalı olarak verilmektedir.

$$Z_{0w} = \frac{R_0}{2\pi} \ln \left(\frac{4h}{W} + \sqrt{\frac{16h^2}{W^2} + 2} \right) \quad W/h \geq 3.3 \quad (3.33)$$

$$Z_{0w} = 60\pi \left[\frac{W}{2h} + 0.9033 + \frac{1}{\pi} \ln \left(\frac{W}{2h} + 0.94 \right) \right]^{-1} \quad W/h < 3.3 \quad (3.34)$$

Problem çözümünde optimizasyon algoritmalarının uyarlanabilmesi için ilk olarak amaç fonksiyonları tanımlanmıştır. f_r 'nin hesaplanması için tanımlanan fonksiyon ile yamanın fiziksel boyutlarını hesaplanmaktadır. Uzunluk L ve genişlik W olmak üzere iki bağımsız değişken olarak tanımlanır. f_r , ε_r ve h , yamanın boyutları olan L ve W için optimize sonuçlarını hesaplayan genetik algoritma ve parçacık sürü optimizasyonu için giriş parametresi olarak kullanılmıştır. Genetik algoritma için popülasyon büyüklüğü 50 birey şeklinde alınmış ve 100 nesil boyunca hesaplanmıştır. Geçiş olasılığı (crossover) 0.1 olacak şekilde alınmış, mutasyon olasılığı 0.1 olacak şekilde hesaba katılmıştır. Parçacık sürü optimizasyonu için popülasyon büyüklüğü 50 birey olacak şekilde seçilmiş ve 100 nesil boyunca hesaplanmıştır. Atalet katsayısı (inertia coefficient) 0,1 olarak belirlenirken, ivme katsayıları (personal-social, acceleration coefficient) 2 olarak seçilmiştir. Arama uzay her iki algoritmada $0 < L < 50$ mm ve $0 < W < 50$ mm olarak alınmıştır.

f_r 'nin bulunması için belirlenen amaç fonksiyonu denklem (3.35)'de sunulmuştur.

$$F = \frac{F_{r_{istenen}} - F_{r_{hesaplanan}}}{F_{r_{istenen}}} \quad (3.35)$$

BW 'nin bulunması için belirlenen amaç fonksiyonu denklem (3.36)'de sunulmuştur. Besleme noktasının konumu ise denklem (3.37) ile hesaplanmıştır. Ayrıca, toplam amaç fonksiyon ise denklem (3.38)'de sunulmuştur.

$$BW = \frac{BW_{istenen} - BW_{hesaplanan}}{BW_{istenen}} \quad (3.36)$$

$$a = \frac{a_{istenen} - a_{hesaplanan}}{a_{istenen}} \quad (3.37)$$

$$\text{Toplam Amaç Fonksiyonu} = F + BW + a \quad (3.38)$$

Yukarıda sırası ile bildirilen formüller kullanılarak en iyi katsayıların genetik algoritma ve parçacık sürü optimizasyonu ile hesaplanarak elde edilen sonuçlar mevcut çalışmalarda bulunan deneysel sonuçlar ile kıyaslanmaktadır.



4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu bölümde önerilen algoritmaların (GA, PSO) hesaplama sonuçları literatürde bulunan, üretimleri gerçekleştirilmiş ve deneysel sonuçları bulunan antenler ile kıyaslanmaktadır. f_r 'nin GA ile elde edilen optimizasyon bulguları Çizelge 4.1'de, parçacık sürü optimizasyonu ile elde edilen optimizasyon sonuçları Çizelge 4.2'de verilmektedir.

Çizelge 4.1 f_r 'nin GA ile optimizasyon sonuçları

Anten Numarası	Optimizasyon Verileri		
	L(mm)	F_D (GHz)	F_{GA} (GHz)
1	10.514	8.000	8.000
2	12.135	7.134	7.134
3	14.005	6.070	6.069
4	14.674	5.820	5.820
5	13.807	6.380	6.380
6	15.088	5.990	5.989
7	18.603	4.660	4.659
8	23.749	4.600	4.600
9	26.296	3.580	3.580
10	27.073	3.980	3.980
11	27.696	3.900	3.900
12	29.905	3.980	3.980
13	30.442	3.900	3.900
14	34.605	3.470	3.470
15	34.607	3.200	3.200
16	39.040	2.980	2.980
17	36.649	3.150	3.150

Çizelge 4.1'de görüldüğü gibi optimizasyon ve üretim sonuçları sunulan 17 farklı anten mevcuttur. Farklı anten boyu değerleri için üretim ve optimizasyon sonuçları sırası ile $F_{Deneyse}$ ve $F_{Hesaplanan}$ olarak sunulmuştur. Sonuçlardan da görüleceği gibi doğruluk oranı oldukça yüksek, ortalama hata oranı ise %0.099 altındadır.

Çizelge 4.2 Çalışma frekansının PSO ile optimizasyon sonuçları

Anten Numarası	Optimizasyon Verileri		
	L(mm)	F _D (GHz)	F _{PSO} (GHz)
1	10.512	8.000	8.000
2	12.135	7.134	7.134
3 ^f	14.000	6.070	6.069
4	14.665	5.820	5.820
5	13.808	6.380	6.380
6	15.089	5.990	5.989
7	18.602	4.660	4.659
8	23.749	4.600	4.600
9	26.297	3.580	3.580
10	27.074	3.980	3.980
11	27.696	3.900	3.900
12	29.905	3.980	3.980
13	30.442	3.900	3.900
14	34.606	3.470	3.470
15	34.607	3.200	3.200
16	39.041	2.980	2.980
17	36.650	3.150	3.150

Çizelge 4.2’de görüldüğü gibi optimizasyon ve üretim sonuçları sunulan 17 farklı anten mevcuttur. Farklı anten boyu değerleri için üretim ve optimizasyon sonuçları sırası ile $F_{Deneyse}$ ve $F_{Hesaplanan}$ olarak sunulmuştur. Sonuçlardan da görüleceği gibi doğruluk oranı oldukça yüksek, ortalama hata oranı ise genetik algoritma sonuçları ile benzer şekilde %0.099 altındadır.

Çizelge 4.3’te hesaplama sonuçları literatürde bulunan değerler ile karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.3 Literatürde hesaplanan değerler ve hesaplama sonuçları

Anten Numarası	Literatürde Hesaplanan Çalışma Frekans Değerleri (GHz)															
	f_{Howell}	$f_{\text{Hammerstad}}$	f_{Carver}	f_{Bahl}	f_{James}	f_{Sengupta}	f_{Garg}	f_{Chew}	f_{Karal}	f_{Karaz}	$f_{\text{Deneyssel}}$	f_{GA}	f_{FSO}			
1	8.698	6.845	7.546	7.519	6.464	8.447	6.889	7.160	8.089	8.067	8.000	8.000	8.000			
2	7.485	5.870	6.601	6.484	5.525	7.342	5.904	6.179	7.241	7.242	7.134	7.134	7.134			
3	6.478	5.092	5.660	5.606	4.784	6.453	5.122	5.396	6.529	6.549	6.070	6.069	6.069			
4	6.180	4.855	5.423	5.352	4.576	6.042	4.886	5.100	5.881	5.875	5.820	5.820	5.820			
5	6.523	5.101	5.823	5.660	4.784	6.453	5.122	5.396	6.529	6.546	6.380	6.380	6.380			
6	5.798	4.539	5.264	5.063	4.239	5.804	4.550	4.830	5.950	5.979	5.990	5.989	5.989			
7	4.768	3.746	4.227	4.141	3.526	4.689	3.770	3.949	4.600	4.600	4.660	4.659	4.659			
8	4.084	3.201	3.824	3.615	2.938	4.209	3.168	3.446	4.556	4.603	4.600	4.600	4.600			
9	3.408	2.668	3.115	2.983	2.485	3.430	2.670	2.845	3.554	3.574	3.580	3.580	3.580			
10	3.585	2.808	3.335	3.162	2.590	3.668	2.790	3.015	3.920	3.955	3.980	3.980	3.980			
11	3.558	2.785	3.299	3.133	2.573	3.629	2.771	2.987	3.863	3.895	3.900	3.900	3.900			
12	3.510	2.753	3.294	3.112	2.522	3.626	2.721	2.966	3.940	3.988	3.980	3.980	3.980			
13	3.313	2.608	3.147	2.964	2.364	3.473	2.554	2.823	3.852	3.903	3.900	3.900	3.900			
14	3.001	2.358	2.838	2.675	2.146	3.129	2.317	2.549	3.450	3.493	3.470	3.470	3.470			
15	2.779	2.183	2.623	2.474	1.992	2.889	2.151	2.357	3.160	3.197	3.200	3.200	3.200			
16	2.684	2.102	2.502	2.370	1.936	2.752	2.086	2.259	2.954	2.982	2.980	2.980	2.980			
17	2.779	2.183	2.623	2.474	1.992	2.889	2.151	2.357	3.125	3.160	3.150	3.150	3.150			
% Ortalama Hata	8.486	25.329	13.170	16.491	30.722	6.253	25.583	20.354	1.492	1.039		0.00032134	0.00032134			

Çizelge 4.3'te görüldüğü gibi 17 farklı anten için her bir çalışmaya ait % Hata değerleri ($\% \text{ Hata} = \frac{f_{\text{Deneyssel}} - f_{\text{Literatür}}}{f_{\text{Deneyssel}}} \cdot 100$) ve her antene ait % Hata değerlerinin ortalaması alınarak ortalama hata değerleri hesaplanmıştır.

Formülde $f_{\text{Deneyssel}}$ ile belirtilen frekanslar deneysel çalışma frekanslarını ifade ederken $f_{\text{Literatür}}$ kıyaslanan çalışmaları ifade etmektedir. f_{Howell} , $f_{\text{Hammerstad}}$, f_{Carver} , f_{Bahl} , f_{James} , f_{Sengupta} , f_{Garg} , f_{Chew} , f_{Kara1} ve f_{Kara2} çalışmalarında belirtilen ortalama hata değerleri sırasıyla % 8.486787, % 25.32964, % 13.17047, % 16.49137, % 30.72255, % 6.253092, % 25.58343, % 20.35468, % 1.492961 ve % 1.039351 olarak hesaplanmıştır. Bu tez kapsamında önerilen f_{GA} ve f_{PSO} hesaplamalarına göre elde edilen ortalama hata değerleri % 0.000321342 değerindedir. Önerilen hesaplamalar ile literatürde bulunan diğer çalışmalara göre daha yüksek doğrulukta sonuç elde edilmiştir. Çalışma frekansının doğru hesaplanması kadar önem arz eden bant genişliğinin genetik algoritma ve parçacık sürü optimizasyonu ile optimizasyon sonuçları Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.5'te verilmektedir.

Çizelge 4.4 Bant genişliğinin GA ile optimizasyonu

Anten Numarası	Bant Genişliğinin GA ile Hesaplanması		
	W(mm)	BW _D	BW _{GA}
1	7.760	17.500	17.354
2	7.900	18.200	18.200
3	9.870	17.900	17.768
4	10.000	18.000	17.942
5	8.140	19.000	18.999
6	7.900	20.000	19.999
7	12.000	18.700	18.583
8	7.830	20.900	20.900
9	12.560	20.000	19.999
10	9.740	20.600	20.600
11	10.200	20.300	20.299
12	8.830	20.900	20.900
13	7.770	21.960	21.959
14	9.200	21.500	21.499
15	10.300	21.600	21.599
16	12.650	20.400	20.400
17	10.800	21.200	21.200
% Ortalama Hata	0.15788716		

Çizelge 4.4'te aynı 17 anten için farklı bant genişlik değerlerine tekabül eden bant genişlikleri deneysel ve genetik algoritma ile hesaplanan değerler olarak sunulmuştur. Her bir antene ait % hata ($\% Hata = \frac{BW_{Deneyisel} - BW_{Hesaplanan} - GA}{BW_{Deneyisel}} 100$) değerleri verilmiştir. Ayrıca bant genişliği hesaplamasının ortalama hatası % 0.15788716 olarak elde edilmiştir.

Çizelge 4.5 Bant genişliğinin PSO ile optimizasyonu

Anten Numarası	Bant Genişliğinin PSO ile Hesaplanması		
	W(mm)	BW _D	BW _{PSO}
1	10.889	17.500	17.354
2	12.078	18.200	18.200
3	14.849	17.900	17.768
4	15.708	18.000	17.942
5	14.632	19.000	18.999
6	16.358	20.000	19.999
7	20.657	18.700	18.583
8	4.679	20.900	20.900
9	19.144	20.000	19.999
10	5.634	20.600	20.600
11	4.970	20.300	20.299
12	1.650	20.900	20.900
13	3.064	21.960	21.959
14	2.309	21.500	21.499
15	7.487	21.600	21.599
16	2.419	20.400	20.400
17	3.916	21.200	21.200
% Ortalama Hata	0.14785334		

Çizelge 4.5'te aynı 17 anten için farklı bant genişlik değerlerine tekabül eden bant genişlikleri deneysel ve parçacık sürü optimizasyonu ile hesaplanan değerler olarak sunulmuştur. Her bir antene ait % hata ($\% Hata = \frac{BW_{Deneyisel} - BW_{Hesaplanan} - PSO}{BW_{Deneyisel}} 100$) değerleri verilmiştir. Ayrıca bant genişliği hesaplamasının ortalama hatası % 0.14785334 olarak elde edilmiştir.

Antenlerde besleme noktasının önemi doğru çalışma modlarının uyarılabilmesi, empedans uyumunun sağlanabilmesi ve yüksek performansta anten tasarlanabilmesi için önem arz etmektedir. Bu sebeple besleme noktası ve giriş empedansının GA ve PSO ile hesaplanmıştır. Mevcut optimizasyon sonuçları genetik algoritma için Çizelge 4.6' da, parçacık sürü optimizasyonu için ise Çizelge 4.7'de sunulmuştur.

Çizelge 4.6 Besleme noktasının ve giriş empedansının GA ile optimizasyonu

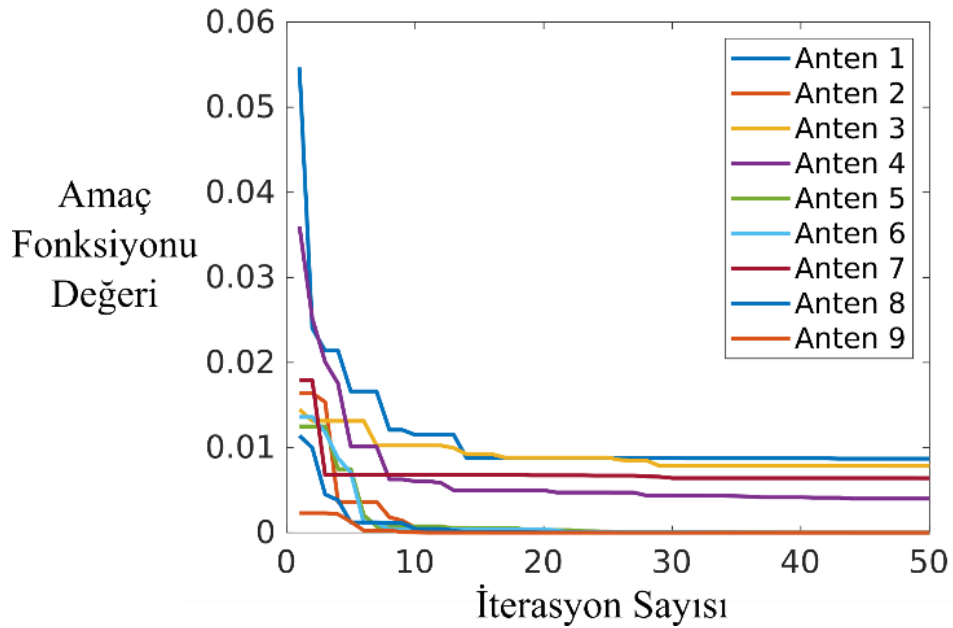
Anten Numarası	Besleme Noktasının ve Giriş Empedansının Genetik Algoritma ile Optimizasyonu				
	$R_{Deneyse\ell}$ (Ω)	$R_{Hesaplanan}$ (Ω)	% Hata	$a_{Deneyse\ell}$ (mm)	$a_{Hesaplanan}$ (mm)
1	47.000	49.999	6.3827	4.030	3.772
2	46.000	50.000	8.5106	3.000	3.563
3	46.000	50.000	8.6956	3.750	4.490
4	45.000	50.000	11.1111	3.450	4.545
5	46.000	49.999	8.6954	3.100	3.750
6	45.000	49.999	11.1108	3.500	3.234
7	44.000	50.000	13.6363	2.550	5.050
8	46.000	49.996	8.6871	4.250	6.574
9	46.000	49.999	8.6954	3.200	6.916
10	45.000	49.999	11.1104	3.100	8.324
11	45.000	50.000	11.1113	3.550	7.825
12	46.000	50.002	8.7004	3.050	7.340
13	49.000	49.964	1.9687	3.200	7.352
14	50.000	49.955	0.0884	3.000	8.768
15	47.000	50.014	6.4141	3.600	9.117
16	46.000	50.000	8.6973	3.700	9.767
17	47.000	49.993	6.37	3.700	8.549
% Ortalama Hata			8.2344		

Genetik algoritma ile elde edilen sonuçlar incelenmiştir ve besleme noktaları için % Hata değerleri ($\% Hata = \frac{R_{Deneyse\ell} - R_{Hesaplanan-GA}}{R_{Deneyse\ell}} 100$) hesaplanmıştır. % Ortalama hata değeri 8.2344 olarak elde edilmiştir.

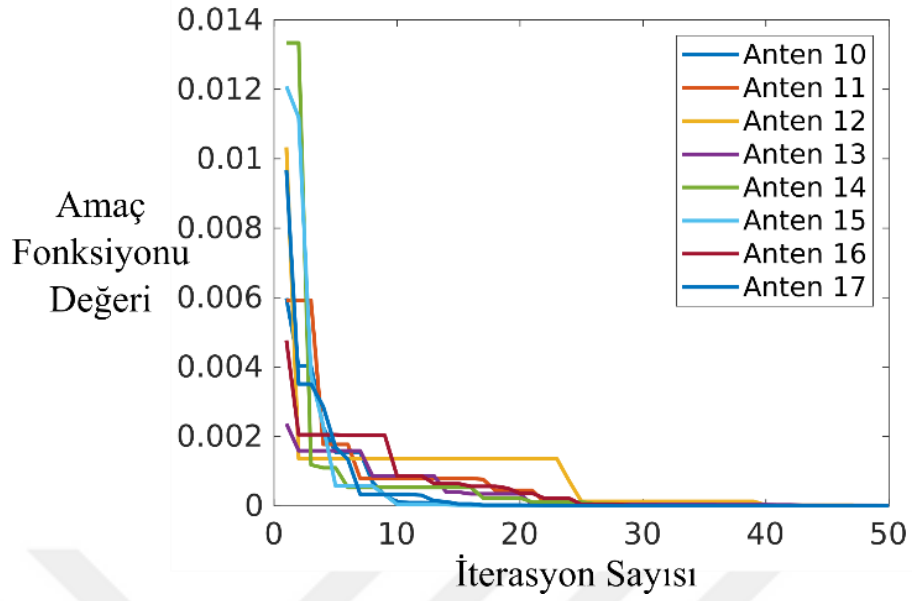
Çizelge 4.7 Besleme noktasının ve giriş empedansının PSO ile optimizasyonu

Anten Numarası	Besleme Noktasının ve Giriş Empedansının Parçacık Sürü Optimizasyonu ile Optimizasyonu				
	$R_{Deneyse\ell}$ (Ω)	$R_{Hesaplanan}$ (Ω)	% Hata	$a_{Deneyse\ell}$ (mm)	$a_{Hesaplanan}$ (mm)
1	47	50	6.3829	4.03	3,2895
2	46	50	8.6956	3	3,5624
3	46	50	8.6956	3.75	4,1746
4	45	50	11.1111	3.45	4,274
5	46	50	8.6956	3.1	3,4921
6	45	50	11.1111	3.5	3,0352
7	44	50	13.6363	2.55	4,9063
8	46	50	8.6956	4.25	7,2633
9	46	50	8.6956	3.2	6,9167
10	45	50	11.1111	3.1	8,6472
11	45	50	11.1111	3.55	9,3796
12	46	50	8.6956	3.05	9,6194
13	49	50	2.0408	3.2	8,0968
14	50	50	0	3	10,119
15	47	50	6.3829	3.6	9,165
16	46	50	8.6956	3.7	13,619
17	47	50	6.3829	3.7	11,092
% Ortalama Hata			8.2435		

Parçacık sürü optimizasyonu ile elde edilen sonuçlar incelenmiştir ve besleme noktaları için % Hata değerleri ($\% Hata = \frac{R_{Deneyse\ell} - R_{Hesaplanan} - PSO}{R_{Deneyse\ell}} 100$) hesaplanmıştır. % Ortalama hata değeri 8.2344 olarak elde edilmiştir.

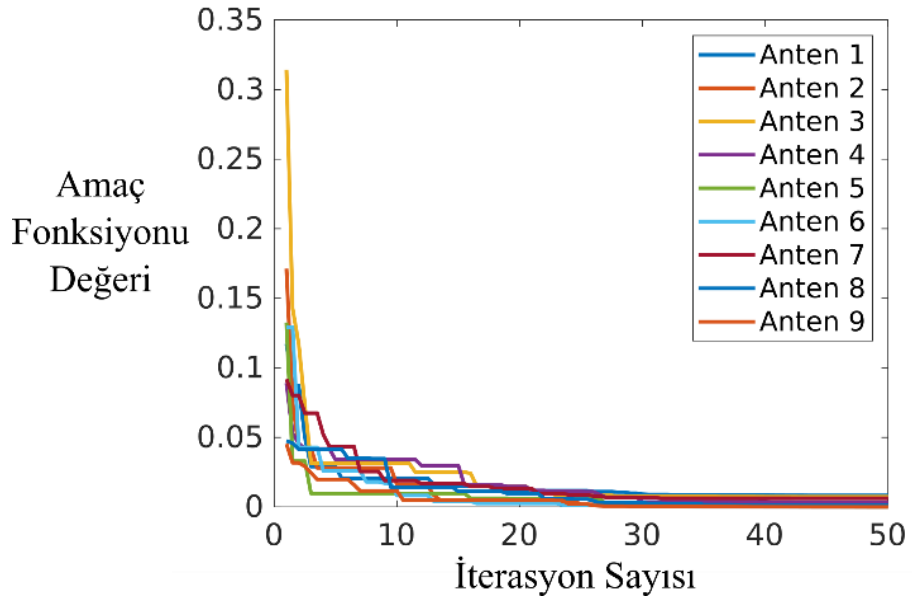


Şekil 4.1 Genetik algoritma iterasyon grafikleri (Anten 1-9)

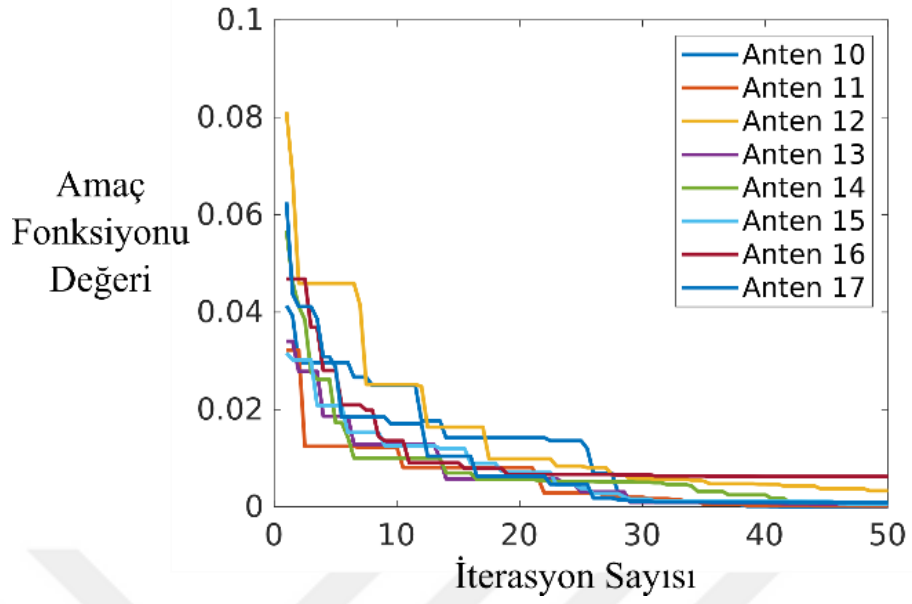


Şekil 4.2 Genetik algoritma iterasyon grafikleri (Anten 10-17)

Genetik algoritma ile elde edilen İterasyon sayısı-Amaç fonksiyonu değeri grafikleri Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de verilmiştir. Grafik çözünürlük değerlerinin okunabilir olması amacı ile ilk 9 anten Şekil 4.1’de sunulurken 10 -17 arasında numaralandırılan antenler Şekil 4.2’de sunulmuştur.



Şekil 4.3 Parçacık sürü optimizasyonu iterasyon grafikleri (Anten 1-9)



Şekil 4.4 Parçacık sürü optimizasyonu iterasyon grafikleri (Anten 10-17)

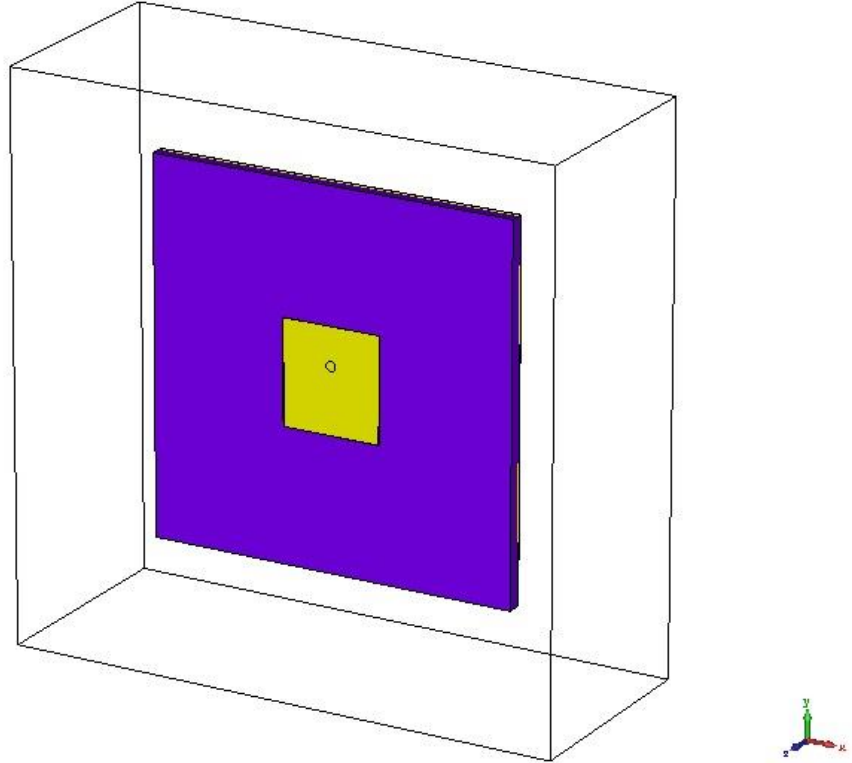
Parçacık sürü optimizasyonu ile elde edilen İterasyon sayısı-Amaç fonksiyonu değeri grafikleri Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te verilmiştir. Grafik çözünürlük değerlerinin okunabilir olması amacı ile ilk 9 anten şekil 4.3'te sunulurken 10 -17 arasında numaralandırılan antenler şekil 4.4'te sunulmuştur.

17 farklı anten için çözüm süresi Intel(R) Core (TM) i5-8265U CPU ve 8.00 GB RAM kapasitesine sahip Windows PC dizüstü bilgisayarda genetik algoritma için 12.004 saniye sürerken, parçacık sürü optimizasyonu için 10.222 saniye sürmektedir. İterasyon grafikleri ve hesaplama süreleri göz önünde bulundurularak parçacık sürü optimizasyonunun probleme daha kısa sürede sonuç bulduğu görülmektedir. Ortalama hatalar bazında bakıldığında ise her iki algoritma da problemi çözmekte literatürde verilen çalışmalara kıyasla en yüksek doğruluğa sahip çalışmalar oldukları görülmektedir

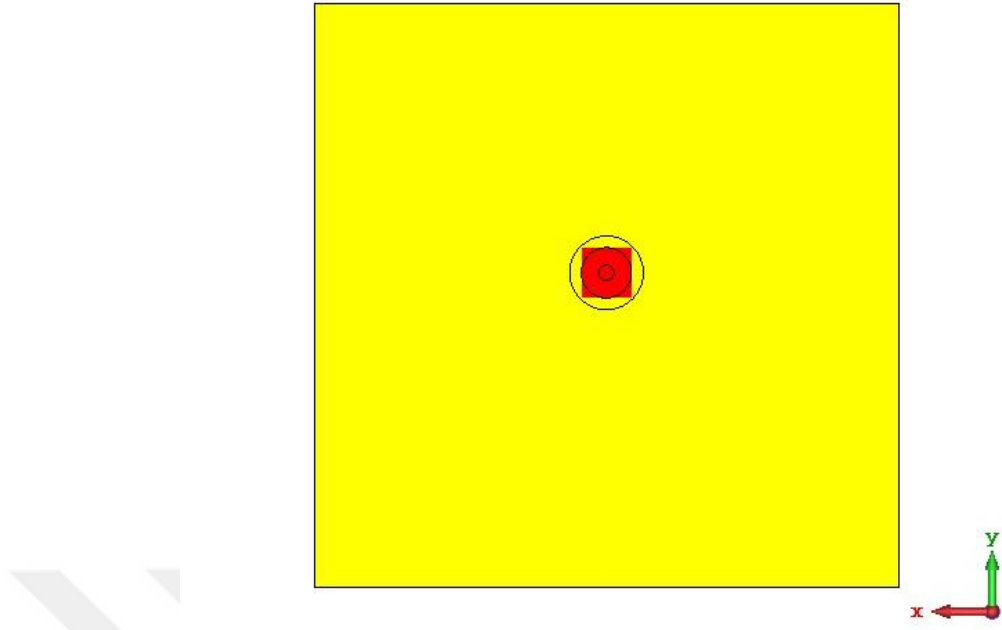
4.1 Optimizasyon Sonuçları ile Anten Tasarımı

Bu bölümde parçacık sürü optimizasyonu ile optimize edilen fiziksel parametreler kullanılarak CST Studio Suite® yazılımı ile iki anten tasarımı yapılmıştır. Tablolarda anten numarası 3'e tekabül eden antenin tasarlanan 3 boyutlu görüntüsü Şekil 4.5'de verilmektedir. Besleme noktasının konumu Şekil 4.6'da verilirken besleme noktasının yan perspektiften görüntüsü Şekil 4.7'de sunulmuştur.

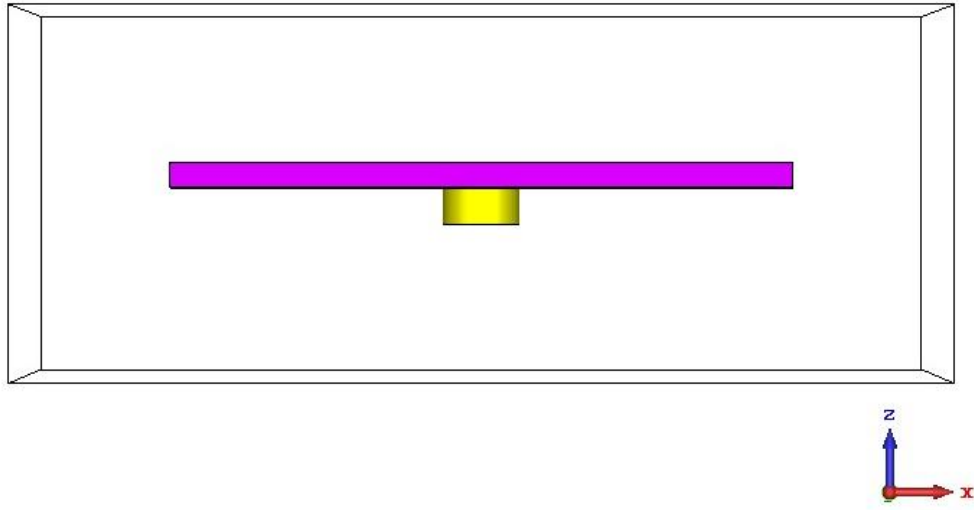
Anten 3 olarak aşağıdaki şekilde sunulan antenin en ve boy değerleri sırası ile 14.85 ve 14.00 mm olarak tasarlanmıştır. Tasarımda elektriksel geçirgenlik değeri $\epsilon_r = 2.55$ olan alt taş malzemesi kullanılmıştır. Tez kapsamında optimize edilen ve literatürde sunulmuş antenlerin tümünde toprak düzlemi ve ışımaya yapan yama kısmının kalınlığı $h=35$ mm'dir.



Şekil 4.5 Anten 3 tasarım görüntüsü

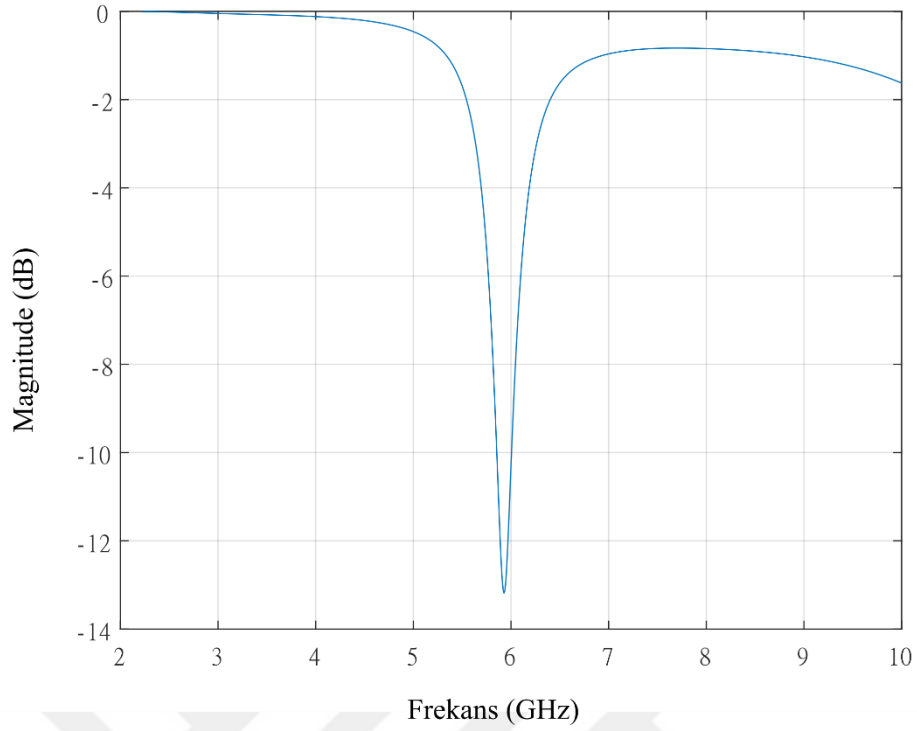


Şekil 4.6 Anten 3 besleme noktası 1



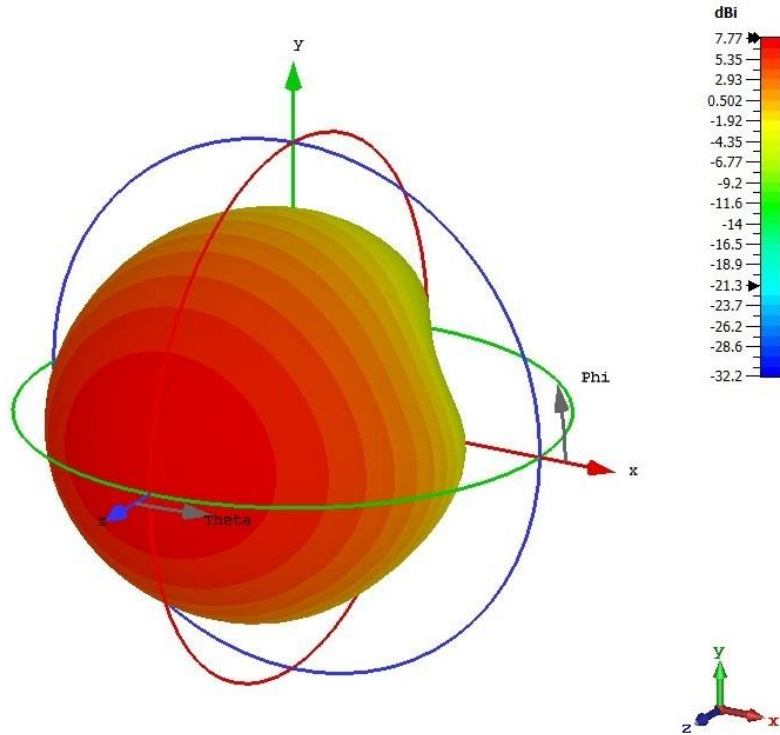
Şekil 4.7 Anten 3 besleme noktası 2

Tasarımı gerçekleştirilen Anten 2 'ye ait çalışma frekansı ve S_{11} grafiği Şekil 4.8'de verilmiştir.



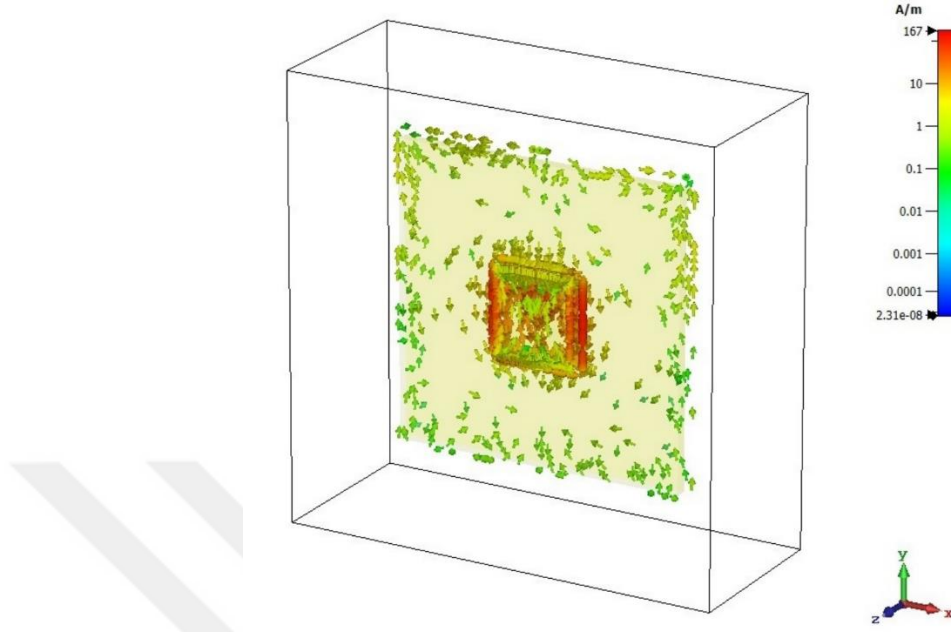
Şekil 4.8 Tasarlanan Anten 3'e ait S_{11} grafiği

Tasarımı gerçekleştirilen Anten 3'e ait uzak alan grafiği Şekil 4.9'da verilmiştir.



Şekil 4.9 Tasarlanan Anten 3'e ait uzak alan grafiği

Tasarımı gerçekleştirilen Anten 3'e ait yüzey akımları grafiği Şekil 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.10 Tasarlanan Anten 3'e ait yüzey akımları grafiği

Yukarıdaki grafikte de görüldüğü gibi anten çalışma frekansı 5.9826 GHz iken -10 dB bant genişliği alt kesim frekansı 5.75 ve üst kesim frekansı 6 GHz olmak üzere bant genişliği % 16'dır.

Laboratuvar ortamında hesaplama sonuçlarının hassasiyetine uygun olarak LPKF S63 cihazı kullanılarak tasarlanan antenlerin üretilmesi mümkündür. Bu imkân dâhilinde tez kapsamında tasarlanan antenin üretilmesi planlanmaktadır.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu tez kapsamında gerçekleştirilen çalışmalarda dikdörtgen şekilli mikroşerit antenlere yönelik çalışma frekansı, bant genişliği, empedans değeri ve besleme noktasına yönelik kestirimleri gerçekleştirmek üzere genetik algoritma ve parçacık sürü optimizasyonu yöntemleri incelenmiş ve algoritmalar bu amaca yönelik geliştirilmiştir.

Bu iki algoritmanın olumlu ve olumsuz yönleri irdelenmiştir ve bu araştırma sonucunda elde edilen sonuçlara göre genetik algoritma ve parçacık sürü optimizasyonu yöntemlerinin avantajları ve dezavantajları aşağıdaki gibi özetlenmektedir. Öncelikle bu iki yöntem de türev bilgisine ihtiyaç duymadan problemleri optimize etmektedir. Sürekli ve süreksiz fonksiyonları optimize etmeye ek olarak çok amaçlı problemleri optimize etmede de kullanılmaktadır. Büyük arama uzayı ve çok sayıda parametrenin yer aldığı problemlere etkili çözümler sunmaktadır. Algoritmaların sunduğu bu olumluluklar sayesinde tez problemi olarak belirlenen kapalı ifadeler kolaylıkla çözüme ulaştırılmıştır ve birden fazla parametre optimize edilmiştir. Algoritmaların olumsuzlukları ise uygunluk değerinin her birey için tekrar tekrar hesaplanması sonucunda oluşan hesaplama zamanı olarak ifade edilebilir.

Birçok farklı uygulama alanında yapısal özellikleri ve üretim kolaylığı sebebi ile değer mikrodalga antenlere kıyasla sıklıkla tercih edilen dikdörtgen şekilli mikroşerit antenler incelenmiştir.

Bu tezin ana motivasyonu dar bant çalışma frekansına sahip mikroşerit antenlerin çalışma frekansı, bant genişliği, empedans değeri ve besleme noktası gibi parametrelerin anten tasarım ve üretim maliyetinin düşürülmesi için önceden ve yüksek doğrulukta tahminine yönelik algoritma geliştirilmesidir. Hali hazırda oldukça yüksek lisans maliyetlerine sahip 3 boyutlu tam dalga elektromanyetik benzetim programlarına düşük maliyetle ve hızlı çözüm veren bir tercih olarak genetik algoritma ve parçacık sürü optimizasyonu algoritmaları önerilmiştir. Söz konusu algoritmalar ile anten en, boy ve besleme noktası konumu optimize edilerek istenen frekansta antenler tasarlanmıştır.

Bu çalışmada yukarıda sözü geçen anten parametreleri genetik algoritma ve parçacık sürü optimizasyonu ile hesaplanmıştır. Bu hesaplamaların tümü MATLAB®

programında yapılmıştır. Hesaplama süresi genetik algoritma ile 12.004 saniye, parçacık sürü optimizasyonu ile ise 10.222 saniye sürmektedir. Hesaplama çıktıları literatürde bulunan diğer çalışmalara kıyasla deneysel verilere en az hata ile yakınsadığı görülmektedir.

Elde edilen sonuçlara göre araştırma bulguları kısmında detayları sunulan antenler için ortalama hata değerleri şu şekilde özetlenebilir:

- Genetik algoritma sonuçlarına göre çalışma frekansı ortalama hata değeri 0.00032% iken parçacık sürü optimizasyonu ortalama hata değeri de benzer yüzdeye sahiptir.
- Empedans hesaplama hataları her iki algoritma ile 8% mertebelerinde olan çalışmada bant genişliği tahmininde ise genetik algoritma sonuçları 0.1578% ortalama hata değerine sahip iken parçacık sürü optimizasyonunda bu değer 0.1478% olarak gözlenmiştir.

Gerçekleştirilen optimizasyon sonrasında belirlenen parametreler kullanılarak doğrulama amaçlı anten tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan anten CST Studio Suite® ile de tasarlanmış sonuçlar hataları ile tartışılmıştır. CST Studio Suite® yazılımı aracılığıyla yapılan analizlerle test edilmiştir. Bu analizlerde ortaya çıkan sonuçların, optimizasyonda kullanılan kapalı ifadelerle elde edilen sonuçlarla uyumlu olduğu gözlenmektedir. CST Studio Suite® yazılımı ile yapılan analizler, sonlu entegrasyon tekniğini temel alan tam dalga elektromanyetik çözümleyici kullanıldığı için doğru fakat yavaş sonuç vermektedir. Bu çalışmada kullanılan tasarım yaklaşımı CST Studio Suite® ile elde edilen sonuçlara çok yakın değerlerin hızlı bir biçimde elde edilmesini sağlamıştır.

Tasarlanan antenin kazanç değeri 13 dB, yönlülük değeri 7.77 ve VSWR değeri 1.5648 olarak elde edilmiştir.

KAYNAKLAR

- Akdagli, A. 2007. "A Closed-Form Expression for the Resonant Frequency of Rectangular Microstrip Antennas." *Microwave and Optical Technology Letters*. <https://doi.org/10.1002/mop.22572>.
- Angeline, P. J. (1998, March). Evolutionary optimization versus particle swarm optimization: Philosophy and performance differences. In *International Conference on Evolutionary Programming* (pp. 601-610). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Bahl, I.J., Bhartia, P., *Microstrip Antennas*, 1980. *Handbook Of Microstrip Antennas* Artech House. Dedham, Ma. IEE Electromagnetic Wave Series No. 28.1 And 2, Peter Peregrinus Ltd., London.
- Balanis, Constantine A. 2015. *Antenna Theory: Analysis and Design*. John Wiley & Sons.
- Bramlette, M. F. (1991). Initialization, mutation and selection methods in genetic algorithms for function optimization. In *Proc. of the 4th. Conf. on GA*, July, 1991 (pp. 100-107).
- Brownlee, J. (2011). *Clever algorithms: nature-inspired programming recipes*. Jason Brownlee.
- C. Coello Coello and M. Lechuga. (2002). MOPSO: A Proposal for Multiple Objective Particle Swarm Optimization. In *Congress on Evolutionary Computation*, Piscataway, New Jersey, USA, vol. 2, pp. 1051-1056, IEEE Service Center.
- Carlisle, A., & Dozier, G. (2001, April). An off-the-shelf PSO. In *Proceedings of the workshop on particle swarm optimization* (Vol. 1, pp. 1-6).
- Carver, K., & Mink, J. (1981). Microstrip antenna technology. *IEEE transactions on antennas and propagation*, 29(1), 2-24.
- Chandran, P. P., & Viswasom, S. (2014, August). Gain and bandwidth optimization of a novel microstrip patch antenna. In *2014 Fourth International Conference on Advances in Computing and Communications* (pp. 315-318). IEEE.
- Chew, W. C., & Liu, Q. (1988). Resonance frequency of a rectangular microstrip patch. *IEEE transactions on antennas and propagation*, 36(8), 1045-1056.
- Eberhart, R., & Kennedy, J. (1995, November). Particle swarm optimization. In *Proceedings of the IEEE international conference on neural networks* (Vol. 4, pp. 1942-1948). Citeseer.
- Fletcher, R. (2013). *Practical methods of optimization*. John Wiley & Sons.
- Gangopadhyaya, M., Mukherjee, P., & Gupta, B. (2010, December). Resonant frequency optimization of coaxially fed rectangular microstrip antenna using

- particle swarm optimization algorithm. In 2010 Annual IEEE India Conference (INDICON) (pp. 1-3). IEEE.
- Garg, R., Bhartia, P., Bahl, I. J., & Ittipiboon, A. (2001). *Microstrip antenna design handbook*. Artech house.
- Garg, R., & Long, S. A. (1987). Resonant frequency of electrically thick rectangular microstrip antennas. *Electronics letters*, 23(21), 1149-1151.
- Goldberg, D. E. (1989). *Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning*. Addison Wesley, 1989(102), 36.
- Gray, P., Hart, W., Painton, L., Phillips, C., Trahan, M., & Wagner, J. (1997). *A Survey of Global Optimization Methods*, Sandia National Laboratories, 1997.
- Guney, K., Sagioglu, S., & Erler, M. (2002). Generalized neural method to determine resonant frequencies of various microstrip antennas. *International Journal of RF and Microwave Computer- Aided Engineering: Co- sponsored by the Center for Advanced Manufacturing and Packaging of Microwave, Optical, and Digital Electronics (CAMPmode) at the University of Colorado at Boulder*, 12(1), 131-139.
- Hammerstad, E. O. (1975, September). Equations for microstrip circuit design. In 1975 5th European Microwave Conference (pp. 268-272). IEEE.
- Howell, J. (1975). Microstrip antennas. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 23(1), 90-93.
- Islam, M. T., Misran, N., Take, T. C., & Moniruzzaman, M. (2009, August). Optimization of microstrip patch antenna using particle swarm optimization with curve fitting. In 2009 International Conference on Electrical Engineering and Informatics (Vol. 2, pp. 711-714). IEEE.
- Jackson, D. R., & Volakis, J. L. (2007). *Microstrip antennas*. In *Antenna engineering handbook*. New York, NY, USA: McGraw-Hill.
- James, J. R., Hall, P. S., & Wood, C. (1986). *Microstrip antenna: theory and design* (Vol. 12). Iet.
- Janikow, C. Z., & Michalewicz, Z. (1991, July). An experimental comparison of binary and floating point representations in genetic algorithms. In *ICGA* (Vol. 1991, pp. 31-36).
- John, W. Chinneck.: *Practical Optimization: a Gentle Introduction*. Systems and Computer Engineering Carleton University Ottawa, Canada, <http://www.sce.carleton.ca/faculty/chinneck/po.html>.
- Johnson, J. M., & Rahmat-Samii, Y. (1996, February). Genetic algorithm optimization for aerospace electromagnetic design and analysis. In 1996 IEEE Aerospace Applications Conference. Proceedings (Vol. 1, pp. 87-102). IEEE.

- 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.
- 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.
- 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.
- Kennedy, J., & Eberhart, R. (1995, November). Particle swarm optimization. In *Proceedings of ICNN'95-international conference on neural networks* (Vol. 4, pp. 1942-1948). IEEE.
- Kennedy, J., & Eberhart, R. C. (1997, October). A discrete binary version of the particle swarm algorithm. In *1997 IEEE International conference on systems, man, and cybernetics. Computational cybernetics and simulation* (Vol. 5, pp. 4104-4108). IEEE.
- Kennedy, J., & Spears, W. M. (1998, May). Matching algorithms to problems: an experimental test of the particle swarm and some genetic algorithms on the multimodal problem generator. In *1998 IEEE International Conference on Evolutionary Computation Proceedings. IEEE World Congress on Computational Intelligence* (Cat. No. 98TH8360) (pp. 78-83). IEEE.
- Kim, M. D., Park, B. H., & Seong, H. K. (2013). A study on design of mobile communication microstrip patch antenna using PSO algorithm. *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, 17(8), 1796-1803.
- Koçer, D. (2009). Daire ve dikdörtgen geometrik yapılı mikroşerit antenlerin ssimülasyonu ve rezonans frekanslarının yapay sinir ağları ile belirlenmesi (Doctoral dissertation, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Kumar, G., & Ray, K. P. (2003). *Broadband microstrip antennas*. Artech house.
- Lovbjerg, M. (2002). Improving particle swarm optimization by hybridization of stochastic search heuristics and self-organized criticality.
- Michalewicz, Z. (2013). *Genetic algorithms+ data structures= evolution programs*. Springer Science & Business Media.
- Mishra, R. G., Mishra, R., Kuchhal, P., & Kumari, N. P. (2018). Optimization and analysis of high gain wideband microstrip patch antenna using genetic algorithm. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(1.5), 176-179.
- Newman, E., & Tulyathan, P. (1981). Analysis of microstrip antennas using moment methods. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 29(1), 47-53.

- Ozcan, E., & Mohan, C. K. (1999, July). Particle swarm optimization: surfing the waves. In Proceedings of the 1999 Congress on Evolutionary Computation-12.
- Pattnaik, S. S., Khuntia, B., Panda, D. C., Neog, D. K., & Devi, S. (2003). Calculation of optimized parameters of rectangular microstrip patch antenna using genetic algorithm. *Microwave and Optical Technology Letters*, 37(6), 431-433.
- Pratihara, D. K. (2008). *Soft computing*. Alpha Science International, Ltd.
- Rana, S., & Whitley, L. D. (1998). Search, binary representations and counting optima. In *Evolutionary Algorithms* (pp. 177-189). Springer, New York, NY.
- Rardin, R. L., & Rardin, R. L. (1998). *Optimization in operations research* (Vol. 166). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Ravindran, A., Reklaitis, G. V., & Ragsdell, K. M. (2006). *Engineering optimization: methods and applications*. John Wiley & Sons.
- Reklaitis, G. V., Ravindran, A., & Ragsdell, K. M. (1983). *Engineering optimization: Methods and applications* (pp. 43-47). New York: Wiley.
- Robinson, J., Sinton, S., & Rahmat-Samii, Y. (2002, June). Particle swarm, genetic algorithm, and their hybrids: optimization of a profiled corrugated horn antenna. In *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium (IEEE Cat. No. 02CH37313)* (Vol. 1, pp. 314-317). IEEE.
- Salman, A. A. (1999). *Linkage crossover operator for genetic algorithms*. Syracuse University.
- Sengupta, D. L. (1983). Approximate expression for the resonant frequency of a rectangular patch antenna. *Electronics Letters*, 19(20), 834-835.
- Shi, Y., & Eberhart, R. (1998, May). A modified particle swarm optimizer. In *1998 IEEE international conference on evolutionary computation proceedings. IEEE world congress on computational intelligence (Cat. No. 98TH8360)* (pp. 69-73). IEEE.
- Shi, Y., & Eberhart, R. C. (1998, March). Parameter selection in particle swarm optimization. In *International conference on evolutionary programming* (pp. 591-600). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Sinton, S., Robinson, J., & Rahmat-Samii, Y. (2002). Standard and micro genetic algorithm optimization of profiled corrugated horn antennas. *Microwave and Optical Technology Letters*, 35(6), 449-453.
- Sudhakaran, G., Kandipati, B., Surya, G. B., Shree, V. K., Sivaprasad, M., & Jayakumar, M. (2017, September). Evolutionary algorithm based structural optimization for patch antenna design and its performance analysis. In *2017 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI)* (pp. 2189-2192). IEEE.

- Van Den Bergh, F. (2002). An analysis of particle swarm optimizers. Department of Computer Science, University of Pretoria, South Africa.
- Van den Bergh, F., & Engelbrecht, A. P. (2002, October). A new locally convergent particle swarm optimiser. In IEEE International conference on systems, man and cybernetics (Vol. 3, pp. 6-pp). IEEE.
- Verma, R. K., & Srivastava, D. K. (2021). Optimization and parametric analysis of slotted microstrip antenna using particle swarm optimization and curve fitting. *International Journal of Circuit Theory and Applications*.
- Yazgan, E. (1985). Mikroşerit Antenler. Department of Electrical and Electronics, Hacettepe University.
- Yilmaz, A. E., & Kuzuoglu, M. (2007). Calculation of optimized parameters of rectangular microstrip patch antenna using particle swarm optimization. *Microwave and Optical Technology Letters*, 49(12), 2905-2907.