

**YAPAY ZEKÂ TEKNİKLERİ İLE  
LİNEER ANTEN DİZİLERİNİN OPTİMİZASYONU**

**Yusuf ÖZDEMİR**

**LİSANS TEZİ  
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ**

**OCAK 2023  
ANKARA**

Yusuf ÖZDEMİR tarafından hazırlanan “YAPAY ZEKÂ TEKNİKLERİ İLE LİNEER ANTEN DİZİLERİNİN OPTİMİZASYONU” adlı bu tezin Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Arş. Gör. Dr. Kayhan ÇELİK .....Tez Danışmanı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümünde Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Erol KURT .....

Doç. Dr. Orhan KAPLAN .....

Dr. Öğr. Üyesi Yılmaz KORKMAZ .....

Arş. Gör. Dr. Kayhan ÇELİK .....

Tarih: 12.01.2023

Bu tez, G.Ü. Teknoloji Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği’nce onanmıştır.

Prof. Dr. Ercan Nurcan YILMAZ .....

Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölüm Başkanı

## ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum bilgi ve dokümanları akademik kurallar etik çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmamda özgün verilerim dışında kalan ve tezde yararlanılan eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu ve başka bir yerde sunmadığımı

Beyan ederim.

Yusuf ÖZDEMİR

12.01.2023

YAPAY ZEKÂ TEKNİKLERİ İLE  
LİNEER ANTEN DİZİLERİNİN OPTİMİZASYONU

(Lisans Tezi)

Yusuf ÖZDEMİR

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ

Ocak 2023

ÖZET

Bu lisans tezinde, lineer anten dizilerinin optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon sonucunda SLL (Yan Lob Seviyesi), HPBW (Yarım Güç Bant Genişliği), yönlülük ve boş kontrol parametrelerinde iyileştirmeler yapılmıştır. Optimizasyonda Genetik Algoritma (GA) ve Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) kullanılmıştır. Bu algoritmalar doğadan ilham alan ve optimizasyon problemlerinde sıklıkla kullanılan meta-sezgisel algoritmalarlardır. Bu algoritmalar çok geniş veya sonsuz bir çözüm uzayına sahip olan problemlerde bize en iyi çözümlerden birini en kısa sürede verebilmektedir. Anten dizilerine uyarladığımız bu optimizasyon algoritmaları tez sonunda geliştirdiğimiz arayüze entegre edilmiştir. Tezin sonucunda anten dizilimlerinin optimize edilebildiği, antenler ve yapay zekâ hakkında bilgi alınabildiği bir arayüz geliştirilmiştir.

Bilim Kodu : 90516

Anahtar Kelimeler : Yapay Zekâ, Sezgisel Algoritmalar, Optimizasyon, Anten

Mikroşerit Anten, Anten Dizileri, Arayüz Tasarımı

Sayfa Adedi : 54

Tez Danışmanı : Arş. Gör. Dr. Kayhan ÇELİK

OPTIMIZATION OF LINEAR ANTENNA ARRAYS  
WITH ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNIQUES

(Thesis)

Yusuf ÖZDEMİR

GAZİ UNIVERSITY

FACULTY OF TECHNOLOGY

January 2023

ABSTRACT

In this undergraduate thesis, optimization of linear antenna arrays has been carried out. As a result of the optimization, SLL (Side Lobe Level), HPBW (Half Power Beamwidth), directivity and null control parameters have been improved. The Optimization uses Genetic Algorithm (GA) and Particle Swarm Optimization (PSO). These algorithms are meta-heuristic algorithms that are inspired by nature and are frequently used in optimization problems. These algorithms give us the best among solution set, rather than a definitive answer. Optimization algorithms are able to give us the best solution as soon as possible in such problems with a very large solution space. These optimization algorithms, which we have adapted to antenna arrays, are integrated into the interface that we developed at the end of the thesis. A user interface has been developed in which antenna arrays can be optimized, and information can be obtained about antennas and artificial intelligence.

Science Code : 90516

Keywords : Artificial Intelligence, Heuristic Algorithms, Optimization

Antenna, Microstrip Antenna, Antenna Arrays, Interface Design

Page Number : 54

Supervisor : Res. Asst. PhD Kayhan ÇELİK

## TEŞEKKÜR

Başta, çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren saygıdeğer hocam Arş. Gör. Dr. Kayhan ÇELİK' e, çalışmalarımda benden desteklerini esirgemeyen Abdurrahman Emre DUR, Mehmet Emincan ÖCAL ve her zaman yanımda olan sevgili aileme teşekkürü borç bilirim.

TÜBİTAK 2209-A - Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı kapsamında “1919B012202738” başvuru numaralı bu proje TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	v
ABSTRACT .....	vi
TEŞEKKÜR .....	vii
İÇİNDEKİLER.....	viii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ .....	xi
RESİMLERİN LİSTESİ .....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	xiii
1. GİRİŞ .....	1
2. ANTENLER.....	2
2.1 Antenlerin Çalışma Prensibi.....	2
2.2 Mikroşerit Yama Antenler .....	2
2.3 Antenin Parametreleri.....	4
2.3.1 Giriş empedansı .....	4
2.3.2 Yansıma katsayısı .....	4
2.3.3 Gerilim duran dalga oranı .....	4
2.3.4 Işıma örüntüsü .....	4
2.3.5 Yönlülük.....	5
2.3.6 Kazanç.....	5
2.3.7 Verimlilik .....	5
2.3.8 Kutuplanma .....	5
2.3.9 Bant genişliği ve frekans.....	6
3. ANTEN DİZİLERİ .....	7
3.1 Anten Dizilerinin Tasarımı.....	8
3.2 Noktasal Kaynaklı Lineer Anten Dizileri .....	9
4. META-SEZGİSEL ALGORİTMALAR.....	10
4.1 Genetik Algoritma (GA) .....	10
4.2 Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO).....	12
5. LİNEER ANTEN DİZİLERİNİN OPTİMİZASYONU .....	13
5.1 Genetik Algoritma İle Lineer Anten Dizilerinin Optimizasyonu .....	14
5.1.1 Algoritma .....	14
5.1.2 Değişkenlerin tanımlanması .....	15
5.1.3 Bireyler ve bireylerin kimlik bilgileri .....	15

5.1.4	Kod çözücü.....	15
5.1.5	Dizi faktörü .....	16
5.1.6	Gen üretici.....	16
5.1.7	Kromozom üretici.....	16
5.1.8	Uygunluk değerinin hesaplanması.....	16
5.1.9	Seleksiyon işlemi.....	16
5.1.10	Çaprazlama işlemi .....	17
5.1.11	Mutasyon işlemi .....	19
5.1.12	Genetik algoritma .....	19
5.2	PSO İle Lineer Anten Dizilerinin Optimizasyonu.....	19
5.2.1	Algoritma .....	19
5.2.2	Değişkenlerin tanımlanması.....	20
5.2.3	Parçacıklar ve parçacıkların kimlik bilgileri .....	21
5.2.4	Dizi faktörü .....	21
5.2.5	Parçacık üretici .....	21
5.2.6	Parçacıkların hız ve konum bilgilerinin güncellenmesi.....	21
5.2.7	Uygunluk değerinin hesaplanması.....	21
5.2.8	Parçacık sürü optimizasyonu.....	21
6.	ANTEN DİZİLERİNİN OPTİMİZASYONU İÇİN ARAYÜZ TASARIMI .....	22
6.1	Arayüzün Tasarımında Kullanılacak Mimari.....	22
6.2	Arayüzün Genel Yapısı.....	23
6.3	Antenler Hakkında Kaynak.....	24
6.4	Yapay Zekâ Hakkında Kaynak.....	24
6.5	Optimizasyon İşlemlerinin Gerçekleştirilmesi.....	25
6.5.1	Genetik algoritma ile optimizasyon işlemleri .....	26
6.5.2	Parçacık sürü optimizasyonu ile optimizasyon işlemleri.....	27
6.6	Grafik Karşılaştırma İşlemleri.....	28
6.7	Programın Çalışabilmesi İçin Gerekli Ayarlamaların Yapılması.....	28
6.8	Proje Hakkında Bilgiler .....	29
6.9	Veri Tabanı.....	30
7.	OPTİMİZASYON SONUÇLARI .....	32
8.	SONUÇ .....	34
	KAYNAKLAR.....	35



ÖZGEÇMİŞ.....	42
---------------	----

**ŞEKİLLERİN LİSTESİ**

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 5.1. Genetik algoritmanın akış diyagramı .....	14
Şekil 5.2. Rulet tekerleği yöntemi .....	17
Şekil 5.3. Noktasal çaprazlama yöntemi .....	18
Şekil 5.4. Parçacık sürü optimizasyonunun akış diyagramı .....	20

## RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Mikroşerit yama antenin yapısı [17] .....	3
Resim 2.2. Antenin ışıma örüntüsü.....	5
Resim 3.1. Anten dizisi [26].....	7
Resim 5.1. Farklı Anten sayılarında dizi faktörü.....	13
Resim 6.1. Arayüzün ana sayfası.....	23
Resim 6.2. Anten sayfası.....	24
Resim 6.3. Yapay zekâ sayfası .....	25
Resim 6.4. Optimizasyon sayfası .....	26
Resim 6.5. Genetik algoritma paneli .....	27
Resim 6.6. Parçacık sürü optimizasyonu paneli .....	27
Resim 6.7. Grafikler paneli .....	28
Resim 6.8. Ayarlar sayfası .....	29
Resim 6.9. Hakkında sayfası görünüm 1 .....	30
Resim 6.10. Hakkında sayfası görünüm 2 .....	30
Resim 6.11. Veri tabanında veriler .....	31
Resim 6.12 Veri tabanında görselleştirilmiş veriler .....	31
Resim 7.1. Örnek optimizasyon sonucu 1.....	32
Resim 7.2. Örnek optimizasyon sonucu 2.....	33

**SİMGELER VE KISALTMALAR**

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
GA	Genetic Algorithm
PSO	Particle Swarm Optimization
GSM	Global System for Mobile
GPS	Global Positioning System
SNR	Signal-to-Noise Ratio
VSWR	Voltage Standing Wave Ratio
AF	Array Factor
AI	Artificial Intelligence
WPF	Windows Presentation Foundation
XAML	Extensible Application Markup Language

## 1. GİRİŞ

Bir anten dizisi, iki veya daha fazla antenin birleşiminden oluşmaktadır. Anten dizileri ile birlikte karşımıza, dizinin geometrik yapısı, elemanlar arasındaki uzaklık, elemanların genlik değerleri ve elemanların fazları gibi birçok parametre çıkmaktadır. Bu her bir parametre anten dizisinin ışımasını etkilemektedir. Her bir parametrenin özenle ayarlanması anten dizisinin istenildiği gibi çalışması için büyük önem arz etmektedir. Sonsuz çözüm uzayına sahip olan bu tip problemlerde meta-sezgisel algoritmalar sıkça tercih edilmektedir. Bizde bu çalışmamızda lineer anten dizilerinin optimizasyonunu gerçekleştirmek için meta-sezgisel algoritmalarından yararlandık. Literatürde çok fazla meta-sezgisel algoritma yer almakta. Bu meta-sezgisel algoritmaların içinde en çok tercih edilenlerin başında Genetik Algoritmalar ve Parçacık Sürü Optimizasyonu algoritmaları gelmekte. Genetik Algoritmalar biyoloji tabanlı iken Parçacık Sürü Optimizasyonu algoritmaları ise sürü tabanlı algoritmalar. Bizde bu lisans tezinde bu meta-sezgisel algoritmalarından yardım alarak lineer anten dizilerinin optimizasyonunu gerçekleştirdik. Gerçekleştirdiğimiz optimizasyon sonucunda yan bantları bastırırken, daha dar bir yarım güç bant genişliği elde ettik. Hem Genetik Algoritmada hem de Parçacık Sürü Optimizasyonunda başarılı sonuç aldıktan sonrasında bu algoritmaları bir arayüze entegre ettik. Arayüzü C# WPF mimarisini kullanarak Windows tabanlı olarak geliştirdik. Bu arayüz ile birlikte kullanıcılar çok rahat bir şekilde anten dizilerini optimize edebilirken aynı zamanda antenler ve yapay zekâ hakkında arayüz üzerinde yer alan menüler sayesinde kapsamlı bir şekilde bilgi edinebilmektedirler. Arayüz üzerinden optimize edilen anten dizileri veri tabanına kayıt alınmaktadır. Bu sayede kullanıcılar yine arayüz üzerinde bulunan grafik karşılaştırma menüsünü kullanarak farklı algoritmalar ile gerçekleştirdiği optimizasyon verilerini kolay bir şekilde karşılaştırabilmektedirler [1-3].

## 2. ANTENLER

Antenler, boşlukta yayılan elektromanyetik dalgaları toplamak (alıcı) ya da boşluğa elektromanyetik dalgalar yaymak (verici) amacıyla geliştirilmiştirler. Antenler aracılığıyla veriler çok uzun mesafelere iletilebilmektedirler. Antenler günümüzdeki haberleşme alt yapısının en önemli yapı taşıdır [4-6].

Antenler, yapılarına ve farklı özelliklerine göre sınıflandırılmaktadırlar. Bu anten çeşitlerine örnek verecek olursak, dipol anten, monopul anten, mikroşerit anten gibi anten çeşitleri bulunmaktadır. Bunların içinde özellikle mikroşerit antenler son yıllarda üzerine yapılan akademik çalışmalarının artmasıyla birlikte popüler bir konuma gelmiştir [7-9].

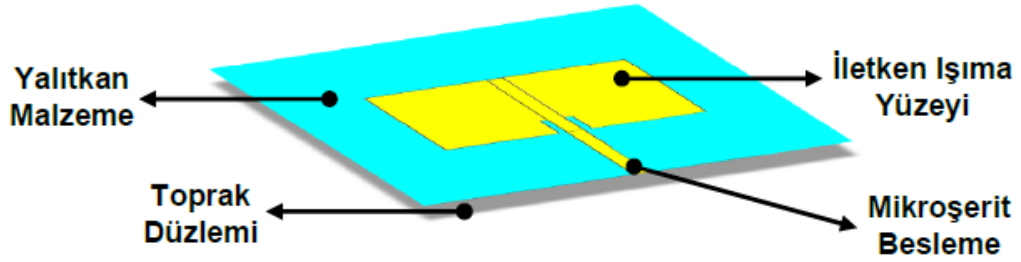
### 2.1 Antenlerin Çalışma Prensibi

Antenlerin çalışma prensibi en temel anlamıyla elektron hareketinden kaynaklanmaktadır. Anten eğer verici olarak kullanılacaksa, anten de elektronlar sınırlandırılarak bir elektromanyetik alan ve bir manyetik alan elde edilir. Zamana bağlı olarak değişen bu dalgalar uzaya enine elektromanyetik dalga olarak yayılır. Anten eğer alıcı olarak kullanılacaksa ise, anten üzerine düşen elektromanyetik dalga anten üzerindeki elektronları harekete geçirerek antenin içinde bir elektron hareketine sebep olur ve böylece antende bir akım meydana gelir. Antende meydana gelen akım anlamlandırılır ve bilgi elde edilir [10-13].

### 2.2 Mikroşerit Yama Antenler

Tarihte ilk kez antenler 19. yüz yılın sonlarında kullanılmıştır. Mikroşerit antenler ise bundan tam bir asır sonra yani 20. yüz yılın sonlarına doğru ortaya atılmış ve kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde bu antenler neredeyse her alanda tercih edilmektedir ve baskı antenler olarak, fotolitografi teknikleri ile üretimi sağlanmaktadır.

Temel bir mikroşerit antenin yapısı şu şekildedir; üst katmanında bir adet iletken yama, alt katmanda bir adet toprak ve bu iki katmanın arasında bir dielektrik malzemeden meydana gelmektedir [14-16].



Resim 2.1. Mikroşerit yama antenin yapısı [17]

Mikroşerit antenin üst kısmında yer alan yama, bakır ya da altın gibi yüksek iletkenliğe sahip bir malzemeden yapılmaktadır. Yama çok farklı şekillerde tasarlanabilmektedir. Mikroşerit antenin optimizasyonu ile ilgilenenlerin odak noktalarından birisi de yamanın tasarımıdır [18-21]. Mikroşerit antenlerin avantajlarını sıralayacak olursak;

- Küçük boyutlara sahip olmaları
- Verimliliklerinin fazla olması
- Dairesel ve doğrusal kutuplanma özelliğine sahip olmaları
- İkili frekans uygulamalarında kullanılabilmeleri
- Farklı geometrik şekillerde yama tasarımlarına imkân sunması

Mikroşerit antenlerin dezavantajları;

- Bant genişliğinin diğer anten tiplerine göre daha dar olması
- Kazançlarının diğer anten tiplerine göre daha düşük olması
- Kayıplarının diğer anten tiplerine göre daha fazla olması

Mikroşerit antenlerin kullanım alanları;

- Uzay endüstrisinde
- Kablosuz haberleşmede
- Askeri telsiz ve ekipman sistemlerinde
- GPS ve GSM uygulamalarında

## 2.3 Antenin Parametreleri

### 2.3.1 Giriş empedansı

$Z_{in}$  olarak ifade edilen giriş empedansı, antenin besleme noktasındaki empedansını temsil eder. Bu değer frekansa bağlıdır.

$$Z_{in} = R_{in} + jX_{in} \quad (2.1)$$

### 2.3.2 Yansımaya katsayısı

Antenin bir diğer parametresi ise yansımaya katsayısıdır. Yansımaya katsayısı, antenden çıkan dalgaların geri yansımaya oranıdır. Denklemden yer alan  $Z_{in}$  değeri giriş empedansını temsil ederken  $Z_0$  değeri ise iletim hattı karakteristik empedansını temsil etmektedir.

$$\Gamma = \frac{Z_{in} - Z_0}{Z_{in} + Z_0} \quad (2.2)$$

### 2.3.3 Gerilim duran dalga oranı

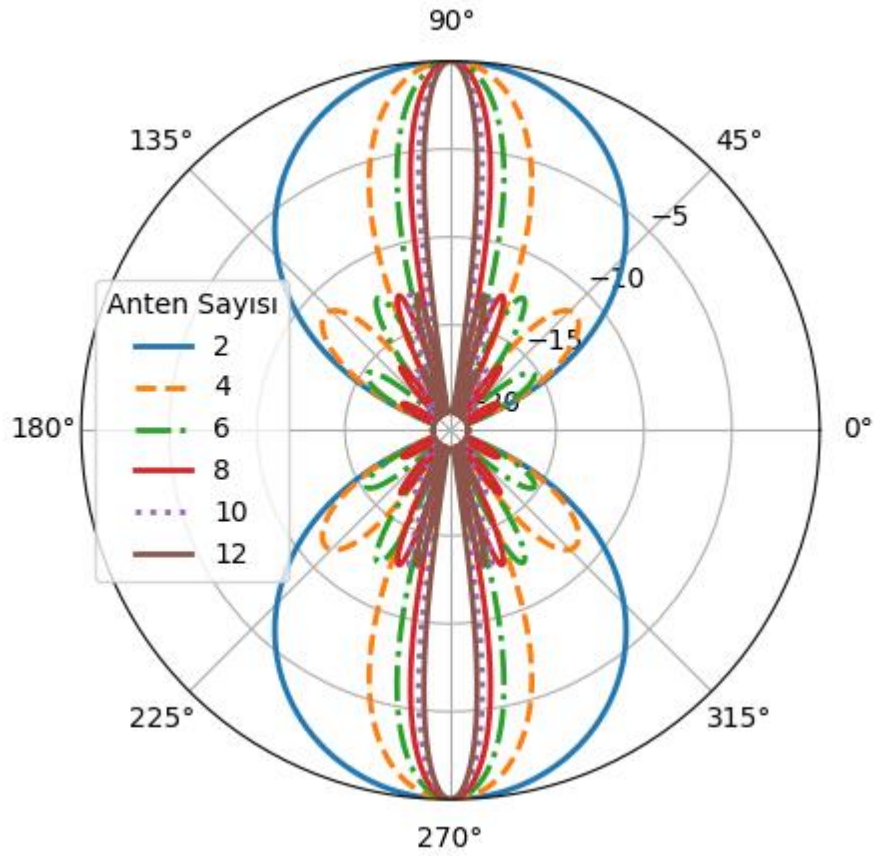
VSWR yani gerilim duran dalga oranı ise bizlere iletim hattının üzerindeki maksimum ve minimum gerilimin oranını vermektedir. Giriş empedansı ve iletim hattının karakteristik empedansının uyumluluğunu temsil etmektedir.

$$VSWR = \frac{|V_{max}|}{|V_{min}|} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (2.3)$$

### 2.3.4 Işıma örüntüsü

Antenlerin ışıma örüntüleri, uzaya yaydıkları gücün dağılımını gösteren modellerdir. Bizde bu lisans tezinde bu modelleri ele alarak optimizasyon işlemlerimizi gerçekleştirdik.





Resim 2.2. Antenin ışıma örüntüsü

### 2.3.5 Yönlülük

Yönlülük, antenlerde belirli bir yöndeki ışımanın o yöndeki izotropik anten ışımlarına göre karşılaştırılmasıdır. İzotropik antenler her yöne eşit miktarda ışıma yapabilen ideal antenlerdir.

### 2.3.6 Kazanç

Antende kazanç, aynı enerji miktarı altında izotropik antenin yaptığı ışımaya oranıdır. Antenin kazancı ne kadar yüksekse yönlülüğü de o kadar yüksektir.

### 2.3.7 Verimlilik

Verimlilik, antene verilen enerjinin sinyale dönüşen enerjiye oranıdır. Kayıplardan dolayı verimlilik hiçbir zaman %100 olamamaktadır.

### 2.3.8 Kutuplanma

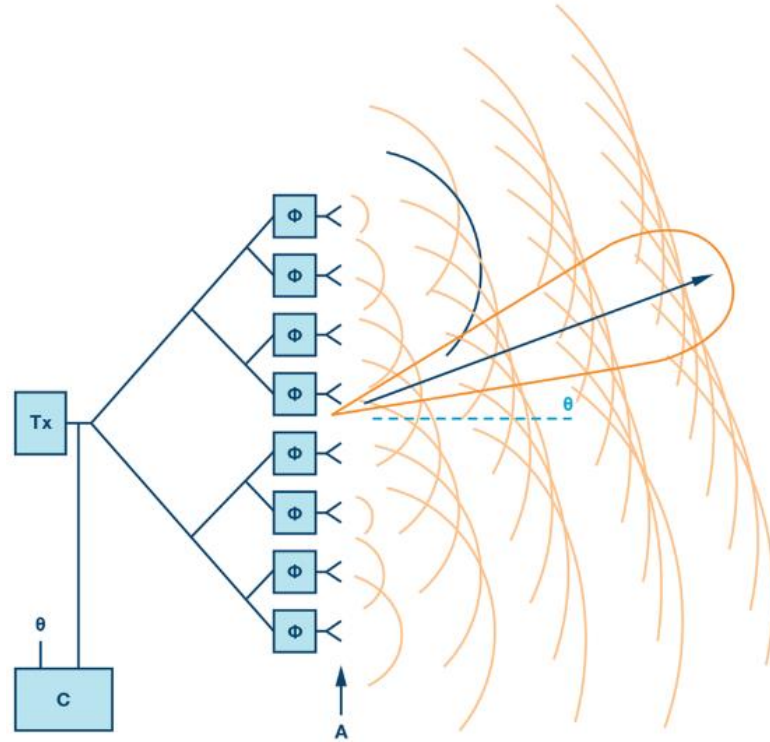
Elektrik alanların yayılma yönlerine göre antenler gruplara ayrılmaktadırlar. Antenler, dikey kutuplanmalı, yatay kutuplanmalı ve dairesel kutuplanmalı olabilmektedirler.

### **2.3.9 Bant genişliği ve frekans**

Antenlerin bir rezonans frekansları vardır. Antenler bu frekans aralığında ışıma yapmaktadırlar. Ayrıyeten antenler bu frekans aralığının dışında elektromanyetik dalgaları yakalayamamaktadırlar. Antenlerin çalıştığı bu frekans aralığına bant genişliği denmektedir [22-23].

### 3. ANTEN DİZİLERİ

Anten dizisi, tek bir ışın oluşturmak amacıyla birden fazla antenin birleşimine denmektedir. Anten dizileri, sinyalin kalitesini iyileştirmek, girişimi azaltmak ve sinyali belirli bir noktada odaklamak için kullanılmaktadırlar. Ayrıca gelen sinyalin nereden geldiğini tespit etmek içinde kullanılmaktadırlar. [24-26].



Resim 3.1. Anten dizisi [26]

Anten dizilerinin oluşturulmasının temel amacı ise birden fazla antenin ışıma örüntüsünü ihtiyaca göre belli bir yönde birleştirmek ve böylece daha yüksek bir kazanç ya da daha dar bir yarım güç bant genişliği elde etmektir.

Anten dizileri günümüzde sıkça tercih edilmektedir bunun nedeni ise bize, yüksek kazanç, yüksek yönlülük ve daha iyi bir performans sağlamasıdır. Bir anten dizisinde hedeflenen kazanımları sıralayacak olursak [27-29];

- Toplam kazancı arttırmak,
- Aış güzergâh çeşitliliği sağlamak,

- Sinyal – Parazit artı Gürültü Oranını (SNR) en üst düzeye çıkarmak
- Anteni belirli bir yönde manevra ettirmek,
- Gelen sinyallerin varış yönünü değiştirmek

Anten dizilerinin avantajları;

- Sinyal gücü artar
- Yüksek yönlülük elde edilir
- Küçük loblar çok azalır
- Yüksek Sinyal-Gürültü oranı elde edilir
- Yüksek kazanç elde edilir
- Daha iyi performans elde edilir

Anten dizilerinin dezavantajları;

- Direnç kayıpları artar
- Montaj ve bakım zorlukları artar
- Büyük harici alan gerektirir

### **3.1 Anten Dizilerinin Tasarımı**

Bir anten dizisinin tasarımında şu parametreler dikkate alınır, antenlerin konumları, antenlerin sinyal genlik değerleri ve son olarak antenlerin faz açıları. Bu parametrelerin istenilen anten tasarımı için özenle seçilmesi gerekmektedir. Buradaki ihtimaller zinciri problemin çözülmesini ciddi anlamda zorlaştırmaktadır [30-31].

Tasarım aşamasında, bir anten dizisi genellikle bir bilgisayar tarafından modellenir. Dizideki her antenin boyut ve ışın oluşturma kapasitesini belirlemek için hesaplamalar karmaşıktır. Zor matematiksel problemleri çözebilen bilgisayar yazılımı bu amaç için kullanılır ve bilgisayarların bu yeteneği desteklemek için önemli bir güce sahip olmaları gerekir.

### 3.2 Noktasal Kaynaklı Lineer Anten Dizileri

Noktasal kaynaklı bir lineer anten dizisini ele alalım, noktasal kaynaklı bir lineer anten dizisi şu formülle ifade edilmektedir:

$$AF = \sum_{i=1}^N a_i e^{(kd_i \cos \theta + \phi_i)} \quad (3.1)$$

Bu formülde, ‘AF’ dizi faktörü anlamına gelmektedir, ‘N’ dizideki anten sayısını ifade etmektedir, ‘ $a_i$ ’ değeri dizideki  $i$  inci antenin genlik değerini ifade etmektedir, ‘ $d_i$ ’ değeri dizideki  $i$  inci antenin konumunu ifade etmektedir, ‘ $\phi_i$ ’ değeri ise dizideki  $i$  inci antenin faz açısını ifade etmektedir. Tasarlamış olduğumuz arayüz ile birlikte kullanıcının seçtiği anten sayısına bağlı olarak, formülde yer alan ‘ $a_i$ ’, ‘ $d_i$ ’, ‘ $\phi_i$ ’ parametreleri sezgisel algoritmalar yardımı ile optimize edebilmektedir [32-34].

#### 4. META-SEZGİSEL ALGORİTMALAR

Meta-sezgisel algoritmalarından kısaca bahsedecek olursak; Bilgisayar bilimlerinde, sezgisel ya da buluşsal bir problem çözme tekniğidir. Sonucun doğruluğunun kanıtlanabilir olup olmadığını önemsememektedir fakat genelde iyiye yakın çözüm yolları elde eder. Sezgisel algoritmalar geçiş süresinde daha verimli hale gelebilmek için en iyi çözümü aramaktan vaz geçerek çözüm zamanını azaltan algoritmalarlardır. Sezgisel algoritmalar en iyi sonucu bulacaklarını garanti etmezler fakat makul bir süre içerisinde bir çözüm elde edeceklerini garanti ederler. Genellikle en iyiye yakın olan çözüm yoluna hızlı ve kolay bir şekilde ulaşırlar. Sezgisel optimizasyon algoritmaları ise; Büyük boyutlu optimizasyon problemleri için, kabul edilebilir sürede optimuma yakın çözümler verebilen algoritmalarlardır. Genel amaçlı sezgisel optimizasyon algoritmaları, biyoloji tabanlı, fizik tabanlı, sürü tabanlı, sosyal tabanlı, müzik tabanlı ve kimya tabanlı olmak üzere altı farklı grupta değerlendirilmektedir. Sürü zekâsı tabanlı optimizasyon algoritmaları kuş, balık, kedi ve arı gibi canlı sürülerinin hareketlerinin incelenmesiyle geliştirilmiştir [35-40].

Biz bu lisans tezimizde literatürde en çok kullanılan algoritmalarından olan biyoloji tabanlı Genetik Algoritma ve sürü tabanlı Parçacık Sürü Optimizasyonu üzerine gitmeye karar verdik. Şimdi ise Genetik Algoritma ve Parçacık Sürü Optimizasyonunu daha yakından inceleyelim.

##### 4.1 Genetik Algoritma (GA)

Genetik algoritmalar, doğada gözlemlenen evrimsel mekanizmalara benzer mekanizmalar kullanarak çalışan eniyileştirme yöntemidir. Genetik algoritmalar problemlere tek bir çözüm üretmek yerine farklı çözümlerden oluşan bir çözüm kümesi üretir. Genetik algoritma, çözüm uzayı sonsuz olan problemlere en ideal çözüm kümelerinden birini bulmak amacıyla, 1975 yılında ‘John Holland’ tarafından ortaya atılmıştır. Bu algoritma evrimsel süreci baz almaktadır.

Bu algoritma doğayı taklit eder, örneğin bir popülasyon oluşturalım popülasyonumuzun içindeki bireyler bizim problemimizin birer çözümleri olsun, bu popülasyondaki bireylerin hepsi bir sonraki nesle geçemeyecektir sadece aralarından en güçlü, en iyi olanlar yani ortama en iyi uyum sağlayabilenler hayatta kalabilecekler. Bu

popülasyondaki en iyi bireyler problemin yakınsamasını istediğimiz cevaba en yakın çözümü üretebilenlerdir. Geriye kalan bireyler sonraki nesle geçemeyeceklerdir. Yeni jenerasyonumuz da ise en iyilerden yeni çocuklar meydana gelecektir. Bu çocuklar en iyilerin genlerini taşıyacaktır. Tıpkı doğada gözlemlediğimiz gibi her yeni gelen jenerasyon bir öncekinden daha iyi bir şekilde ortama uyum sağlayacaktır, tabi ki bura da mutasyonun payını göz ardı etmemek lazım her zaman istenildiği gibi yeni jenerasyon bir öncekinden daha iyi bir uygunluk değeri sağlamayabilir ama döngünün geneline bakacak olursak ilk jenerasyondan son jenerasyona her zaman uygunluk değerinde iyileşme gözlemlenecektir.

Bu evrim sürecini şimdi matematiksel olarak ifade edecek olursak; ilk olarak problemimizi matematiksel modelini çıkarmamız gerekli. Problemimizi matematiksel olarak ifade ettikten sonra ilk popülasyonumuzu oluştururuz, popülasyon sayısı değişkendir istediğimiz sayıda belirleyebiliriz, popülasyon da ki birey sayısının az olması döngü hızını arttırırken, iterasyon sayısını da arttırmaktadır, tersi durumda ise yani popülasyon da ki birey sayısının artması durumunda da döngü hızı yavaşlarken, iterasyon sayısı da azalmaktadır. Yani bura da popülasyon sayısının seçimi önem arz etmektedir ne çok yüksek olması istenen bir durumdur ne de çok düşük olması, genel olarak algoritmalarda popülasyon sayısı ‘100’ birey olarak tanımlanmaktadır. Bu birey sayısı bizim algoritmamıza ve problemimize göre arttırılabilir de azaltılabilir de bu birazda bizim kodu çalıştıracığımız bilgisayarın gücüne bağlıdır. İlk popülasyonumuzu istediğimiz birey sayısında oluşturduktan sonra bu popülasyonumuzun her bir bireyin uygunluk değerini hesaplarız burada uygunluk değeri bizim problemimizden istediğimiz sonuca bağlıdır genellikle bir problem minimize veya maksimize edilmeye çalışılır. Her bir bireyin uygunluk değerini hesapladıktan sonra uygunluk değeri en yüksek olan bireyleri örneğin popülasyondaki en yüksek uygunluk değerine sahip olan bireylerin % 10 u bir sonraki jenerasyona direk olarak aktarıyoruz. Yeni jenerasyonumuzda ise başta belirttiğimiz popülasyondaki birey sayısına ulaşana kadar yeni çocuklar üretilcektir bu çocuklar bir önceki jenerasyonun en iyi %10 undan seçilen rasgele ebeveynlerin genlerini taşıyacaktır. Yani bu etapta ilk olarak bir ‘Seleksiyon’ yani seçim fonksiyonu tanımlanmalıdır, bu fonksiyon bize bir adet anne ve bir adet baba döndürmelidir sonrasında bu seçilen anne ve babanın genleri bir ‘Çaprazlama’

fonksiyonu aracılığıyla çaprazlanmalı ve son olarak belirli bir mutasyon oranıyla oluşan kromozom mutasyona uğramalı veya uğramamalıdır. Sonuç olarak ortaya yeni bir birey çıktı bu birey bir önceki neslin en iyilerinin genlerini taşıyor. Bu kısımda ise özellikle dikkat etmemiz gereken şey ise mutasyon fonksiyonumuz ve mutasyon oranımızdır bunun nedeni ise tanımlayacağımız mutasyon oranına ve mutasyon fonksiyonuna göre bir sonraki jenerasyona yeni bireyler oluştururken optimal çözümden çok fazla sapabiliriz o yüzden mutasyon oranı genelde %3 civarı seçilmektedir. Tanımladığımız birey sayısına ulaşana kadar yeni bireyler oluşturduktan sonra artık yeni popülasyonumuz tanımlanmış oldu. Buradan sonrası döngü şeklinde tanımladığımız iterasyon sayısına kadar bu işlemler sürekli tekrar edecektir [41-44].

#### 4.2 Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO)

PSO, doğada sürü halinde hareket eden hayvanların yiyecek bulmak gibi temel ihtiyaçlarını giderirken sergiledikleri hareketlerin, sürüdeki diğer bireyleri etkilediğinin ve sürünün amacına daha kolay ulaştığının gözlemlenmesinden esinlenilerek Dr. Kennedy ve Dr. Eberhart tarafından 1995 yılında geliştirilmiş bir optimizasyon algoritmasıdır. PSO'da çözümü bulmak adına arama yapan her bir bireye parçacık adı verilmektedir. Bu parçacıkların tümüne ise sürü adı verilmektedir. Bir parçacığın çözüme ne kadar yakın olduğunu anlamak için tıpkı genetik algoritmada olduğu gibi bir uygunluk fonksiyonu kullanılmaktadır. PSO'da uygunluk, parçacığın çözüme olan uzaklığı ile ölçülmektedir. Bu formül ile birlikte parçacığın yeni hızının ve yeni konumunun hesabı yapılmaktadır [45-47]

$$v_{i+1} = v_i + c_1 * rand_1 * (pbest - x) + c_2 * rand_2 * (gbest - x) \quad (4.1)$$

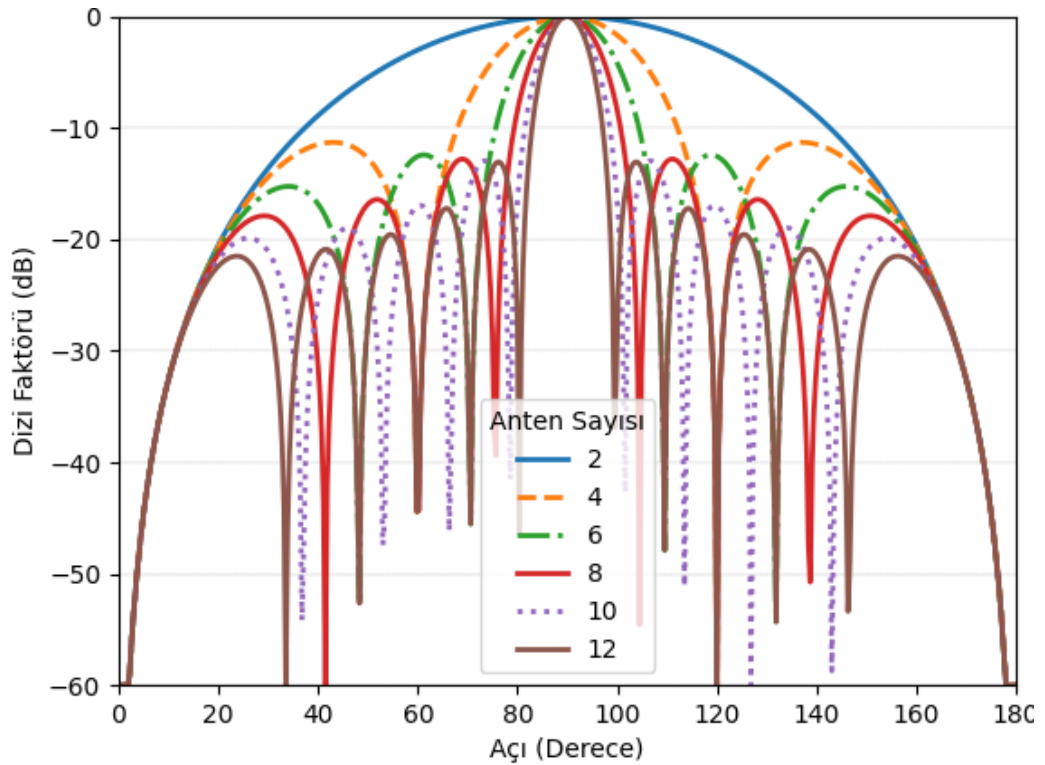
$$x_{i+1} = x_i + v_i \quad (4.2)$$



## 5. LİNEER ANTEN DİZİLERİNİN OPTİMİZASYONU

Bir anten dizisinin optimizasyonunu yaparken antenlerin birbirine göre olan konumları, faz açıları ve genlik değerleri gibi parametrelerin özenle seçilmesi gerekmektedir. Bu parametreleri bir bilgisayardan yardım almadan ayarlamak çok uzun süreler alabilmektedir. Bu yüzden günümüzde bu konuda sezgisel algoritmalarından yardım alınmaktadır. Sezgisel algoritmalar sayesinde istediğimiz sonuçlara en yakın verileri kolaylıkla çok kısa süreler içerisinde elde edebilmekteyiz [48-50].

Bu çalışmamızda meta-sezgisel algoritmaların kodlanmasın da ‘Python’ dilini kullandık. Bunun en büyük nedeni ise ‘Python’ dilinin günümüzde veri biliminde geliştiricilere çok büyük kolaylıklar sunmasıdır. Arayüz tasarımında ve geliştirilmesinde ise ‘C#’ dilini tercih ettik. Seçilmiş olan bu kodlama dilleri kişilerin kendi tercihlerine kalmaktadır. Bizim burada bu kodlama dillerini tercih etmemizin nedeni bize sunmuş oldukları kullanım kolaylıklarıdır.

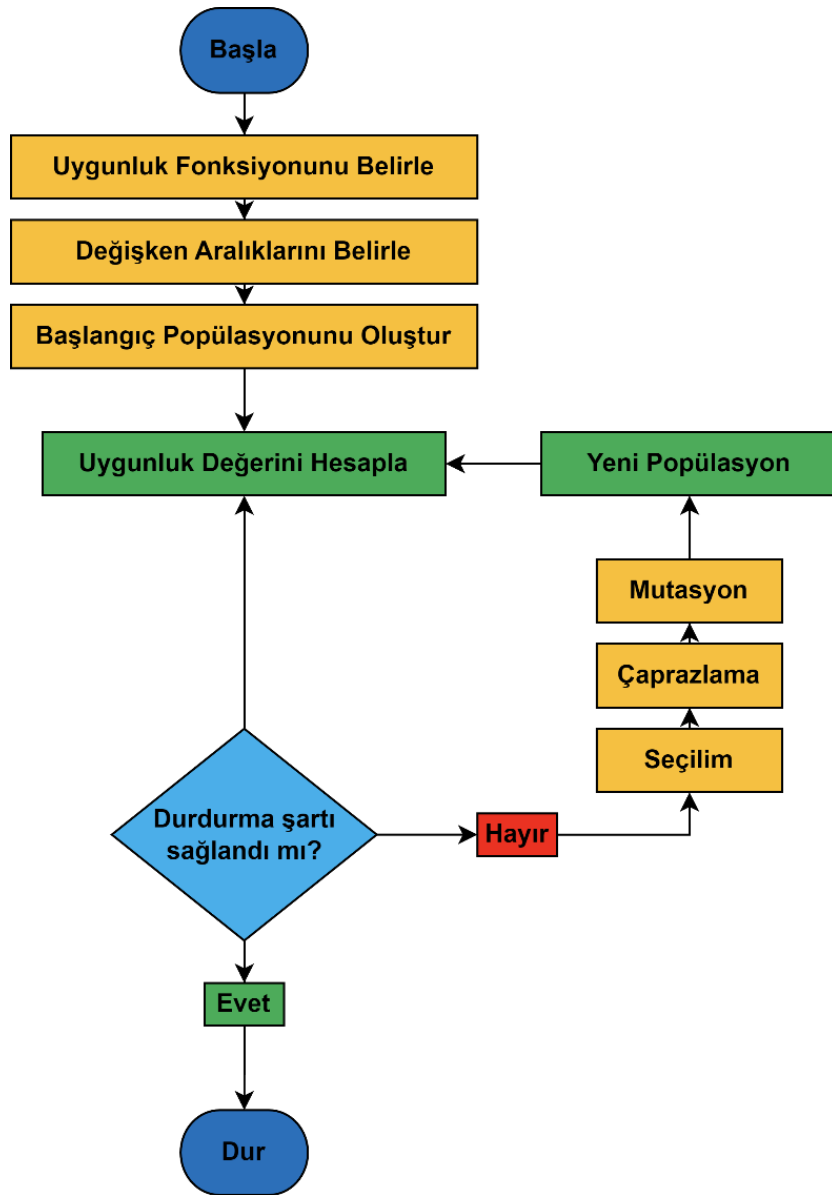


Resim 5.1. Farklı Anten sayılarında dizi faktörü

## 5.1 Genetik Algoritma İle Lineer Anten Dizilerinin Optimizasyonu

### 5.1.1 Algoritma

Bir kodu yazmadan önce en önemli nokta algoritmanın oluşturulmasıdır. Bölüm 5'te Genetik Algoritma başlığı altında bir genetik algoritmanın nasıl çalıştığına dair kapsamlı bir bilgi vermiştik. Şimdi ise bu bilgiler ışığında algoritmamızı oluşturduk. Algoritma oluşturmanın en kolay yöntemi akış şemasını takip etmektir. Akış şeması bize hangi işlemleri hangi sırayla yapmamız gerektiğini verecektir.



Şekil 5.1. Genetik algoritmanın akış diyagramı

Algoritmamızın adımlarını sıradan inceleyecek olursak ilk olarak ‘Genetic’ adında bir sınıf tanımladım. Şimdi ise sırasıyla ‘Genetic’ sınıfımızın içindeki fonksiyonlara ve işleyişlerine tek tek göz atalım [51-53].

### **5.1.2 Değişkenlerin tanımlanması**

Diğer tüm algoritmalarda olduğu gibi ilk başta değişkenlerimizi tanımlamak önemlidir, özellikle programın temelini oluşturan ana değişkenler, diğer değişkenler ilerleyen dönemde programın ilerleyişine göre eklenip çıkartılabilir. Yapıcı fonksiyonumuzda burada devreye giriyor. Sınıfımız ilk çağırıldığında bu fonksiyon otomatik olarak dönmektedir bundan dolayı bu fonksiyonun içine diğer işlemlerden önce yapılmasını istediğimiz tüm işlemleri yazmalıyız. Ben bu kısımda tüm kullanacağım değişkenlerin atamasını yaptım. Bu değişkenlerden dışarıdan girdi olarak alınmaktadır. Girdi olarak alınan bu değişkenler tasarlamış olduğumuz arayüz üzerinden girdi olarak verilebilmektedir.

### **5.1.3 Bireyler ve bireylerin kimlik bilgileri**

Bu kısımda popülasyonumuza ait her bir bireyin ayrı ayrı, kromozom bilgisini, uygunluk değeri bilgisini, uygunluk değerinin toplam uygunluk değerine oranının bilgisini tuttuğumuz bir sınıf tanımladım. Yani istediğim zaman istediğim bireyin bilgilerine bu sınıf sayesinde erişebilmekteyim böylece bireyler üzerinde işlemlerimi çok daha kolay bir şekilde gerçekleştirmekteyim.

### **5.1.4 Kod çözücü**

Bu fonksiyon bizim ‘1’ ve ‘0’ lardan oluşan değişkenimizin onluk tabandaki karşılığını bulmaktadır. Fonksiyonumuz parametre olarak değişkenimizin değer aralığını, değişkenimizin bit uzunluğunu ve değişkenimizin kendisini almaktadır. Fonksiyonumuzu sırasıyla inceleyecek olursak, bu kısımda fonksiyonumuz değişken sayımız kadar dönüp her bir değişkenimiz için aynı işlemi tekrarlayacaktır. Tüm bitlerin bir olması demek değişkenimizin tanım aralığındaki en büyük değer demektir, tüm bitlerimizin sıfır olması ise değişkenimizin tanım aralığındaki en küçük sayı demektir diğer durumlar ise bu koşula göre işlenmektedir. Bu kısımda bit sayısı ne kadar fazla ise hassasiyette o kadar fazla olacaktır. Bit sayısı yine arayüz üzerinden kullanıcı tarafından seçilebilmektedir.

### 5.1.5 Dizi faktörü

Bu fonksiyonumuzun içinde lineer anten dizilerine ait dizi faktörü denkleminizi tanımlarız, bu fonksiyon parametre olarak antenlerin faz farklarının değer aralığını, antenlerinin genliklerinin değer aralığını ve antenlerin konumlarının değer aralığını alır bu parametrelerin fonksiyona gönderilmeden önce kod çözücü fonksiyonuna tabi tutulması önemlidir.

### 5.1.6 Gen üretici

Bu fonksiyonumuzun görevi; çağırıldığında bize '0' veya '1' değerini rasgele olarak döndürmesidir.

### 5.1.7 Kromozom üretici

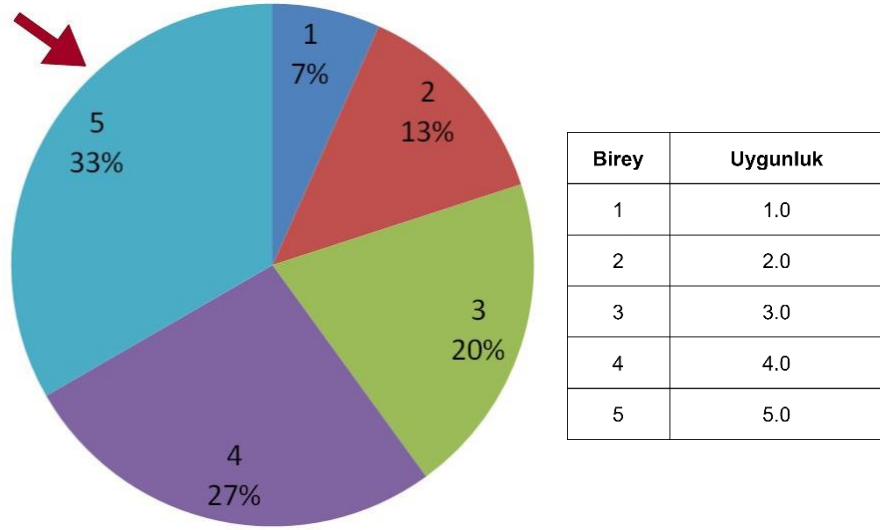
Bu fonksiyonumuzun görevi; çağırıldığında bize bit sayımız kadar Gen Üretici fonksiyonunu çağırarak bir adet kromozom döndürmesidir.

### 5.1.8 Uygunluk değerinin hesaplanması

Bu fonksiyonumuz algoritmamızın bel kemiği desek yanlış olmaz çünkü istediğimiz sonucu alabilmemiz için uygunluk değerinin doğru hesaplanması önem arz etmektedir.

### 5.1.9 Seleksiyon işlemi

Bu fonksiyonumuzda çaprazlama işleminin gerçekleştirilmesi ve yeni bireyin oluşturulması için ebeveyn seçme işlemi yapılmaktadır. Bu işlemi ben 'rulet tekerleği' yöntemi ile gerçekleştirdim. Bu yöntemden kısaca bahsedecek olursak; bir çarkıfelek mantığı ile çalışır, bireyler uygunluk değerlerinin büyüklüğüne göre çarkıfeleğin üzerinde yer kaplamaktadır yani her bireyin seçilme ihtimali vardır fakat bireyin uygunluk değeri ne kadar yüksek ise seçilme ihtimalide bir o kadar yüksek olacaktır [54-55].



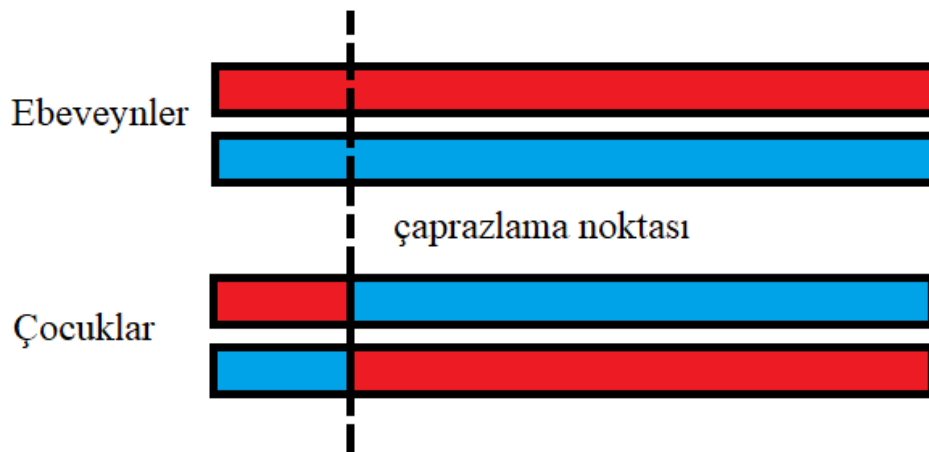
Şekil 5.2. Rulet tekerleği yöntemi

İlk olarak uygunluk değerlerimizin toplam değerini tutacak bir değişken tanımladım sonrasında bir de toplam oranı tutacak bir değer tanımladım yani '%100'. Şimdi ise içerisinde bir önceki jenerasyonun en iyilerini ve en iyilerden üretilen yeni bireyleri tutan listenin içerisinde dönerek her bir bireyin uygunluk değeri tek tek toplam uygunluk değeri değişkenimize eklenir. Sonrasında ise yine aynı listenin içinde dönerek her bir bireyin kendi uygunluk değerinin toplam uygunluk değerine oranının yüzdesi alınır ve bireye atanır. Şimdi ise rasgele olarak sıfır ile yüz arasında bir zar atılır sonrasında yeni jenerasyonumuzdan oluşan listenin içerisinde tek tek dönmeye başlanır, n'inci bireyimizin uygunluk değeri yüzdesi o anki toplam uygunluk değeri yüzdesinden çıkartılır ve attığımız zardan küçük olup olmaması kontrol edilir eğer ki koşul sağlanırsa o birey birinci ebeveyn olarak atanır aynı işlem tekrar yapılır ve ikinci ebeveyn seçilir. Bu işlemde her bir bireyin seçilme ihtimali vardır ama bireyin uygunluk değeri ne kadar yüksek ise seçilme ihtimalide bir o kadar fazla olacaktır. Bu yöntem ile birlikte her yeni nesilin bir önceki nesilden daha iyi olması hedeflenmektedir.

#### 5.1.10 Çaprazlama işlemi

Bu fonksiyonumuz çaprazlama işleminin gerçekleştiği fonksiyondur, parametre olarak çaprazlama işleminin gerçekleşme oranını almaktadır. Bu fonksiyonun işleyişini kodun üzerinde inceleyelim. İlk olarak popülasyonumuzdaki uygunluk değeri en yüksek olan %10'luk kesimi sonraki jenerasyonun tutulduğu listemizin içine atıyoruz. Sonrasında

ise yeni jenerasyonumuzda kalan eksik kısmı en iyi %10'dan oluşan bireylerden üreteceğimiz yeni bireylerle dolduracağız ve birey sayımız tanımladığımız popülasyon uzunluğuna ulaşınca döngümüzü keseceğiz. İlk olarak 'seleksiyon fonksiyonunu çağırıyoruz ve bu fonksiyon bize iki adet ebeveyn döndürecektir. Sonrasında döndürülen ebeveynleri çaprazlama işlemine sokmadan önce bir koşula sokuyoruz bu koşul şu şekildedir sıfır ile bir arasında bir zar atılır ve atılan zar tanımlamış olduğumuz çaprazlama işleminin gerçekleşme oranından küçük ise çaprazlama işlemi gerçekleşecektir eğer koşul sağlanmaz ise direkt seçilen bireyler tekrardan çaprazlanmadan yeni jenerasyona yeni bireyler olarak atanacaktır. Şimdi ise koşulun sağlandığı duruma bakacak olursak, bir ile kromozom uzunluğunun iki eksiği kadar olan sayı arasında bir zar atılır, zarın sonucuna  $x$  diyelim, birinci yeni bireyimiz birinci ebeveynin  $x$  e kadar olan kısmını alıp ikinci ebeveyninden de  $x$  den sonrasını alırken, ikinci yeni bireyimizde birinci ebeveynin  $x$  den sonrası alınırken ikinci ebeveynin  $x$  den öncesi alınmaktadır. Sonrasında bu yeni bireyler tek tek mutasyon fonksiyonuna gönderilerek mutasyon işlemine tabi tutulurlar ve yeni jenerasyon listemize eklenirler. Bu işlem yeni jenerasyonumuzdaki birey sayısı tanımlamış olduğumuz popülasyondaki olması gereken birey sayısına eşit olana kadar tekrarlanır ve son olarak döngü tamamlandıktan sonra yeni jenerasyona atadığımız yeni bireyler popülasyon listemize aktarılır [56].



Şekil 5.3. Noktasal çaprazlama yöntemi

#### **5.1.11 Mutasyon işlemi**

Bu fonksiyonda mutasyon işlemi gerçekleştirilmektedir. Fonksiyonumuz iki adet parametre almaktadır bunlardan ilki bireyin kromozom bilgisi ikincisi ise mutasyon işleminin gerçekleşme oranıdır. Fonksiyonumuzun çalışması koşula bağlıdır koşulumuz ise atmış olduğumuz zarın tanımlamış olduğumuz mutasyonun gerçekleşme oranından küçük gelmesidir. Fonksiyonumuzu inceleyelim. Fonksiyonumuz şu şekilde işlemektedir, bireyimizin içinde döneriz sonrasında her adımda bir zar atarız eğer attığımız zar mutasyon gerçekleşme değerinden daha küçük gelirse kromozomumuzun o adımdaki değeri bir ise sıfır, sıfır ise bir yapılır [57].

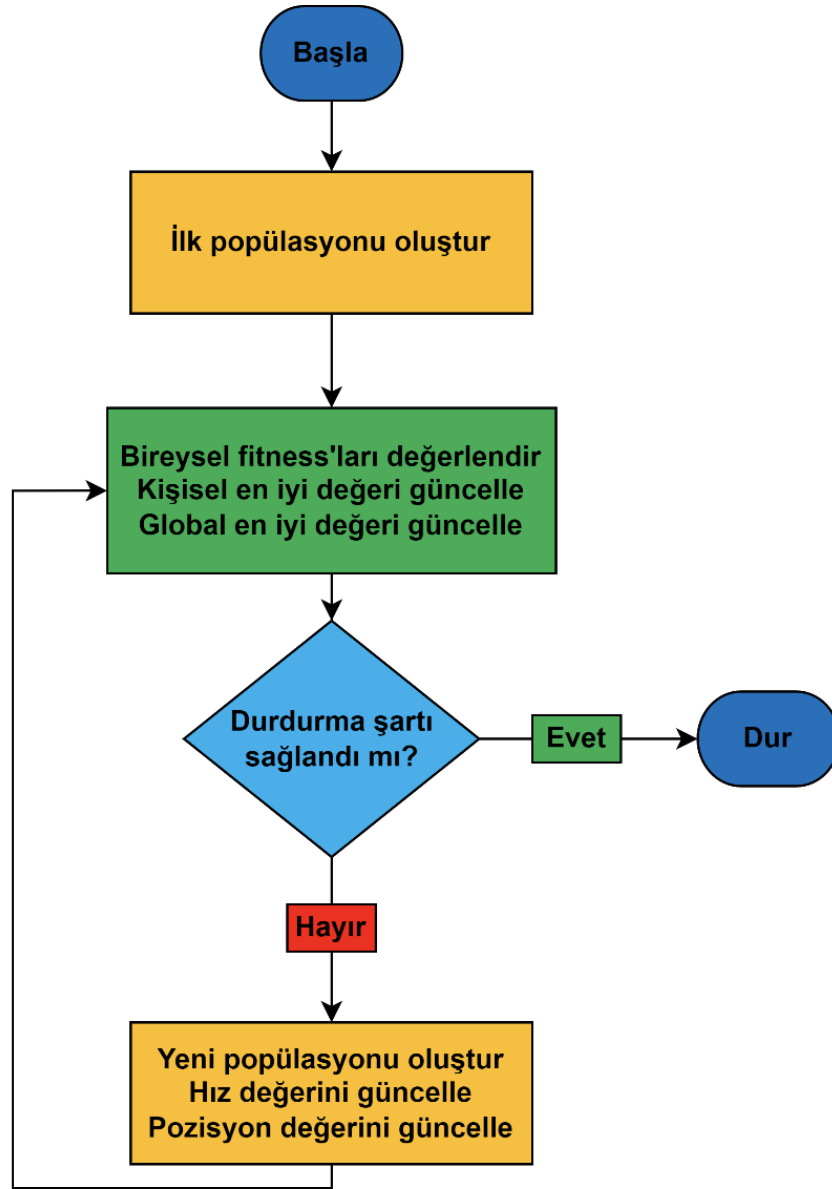
#### **5.1.12 Genetik algoritma**

Bu kısımda ise tanımlamış olduğumuz fonksiyonları belirli bir hiyerarşi içerisinde tek tek çağıracağız yani bu bizim sınıfımızın ana fonksiyonudur.

### **5.2 PSO İle Lineer Anten Dizilerinin Optimizasyonu**

#### **5.2.1 Algoritma**

Bir kodu yazmadan önce en önemli nokta algoritmanın oluşturulmasıdır. Bölüm 7’de Parçacık Sürü Optimizasyonu başlığı altında bir PSO algoritmasının nasıl çalıştığına dair kapsamlı bir bilgi vermiştik. Şimdi ise bu bilgiler ışığında algoritmamızı oluşturduk. Algoritma oluşturmanın en kolay yöntemi akış şemasını takip etmektir. Akış şeması bize hangi işlemleri hangi sırayla yapmamız gerektiğini verecektir [58-62].



Şekil 5.4. Parçacık sürü optimizasyonunun akış diyagramı

Algoritmamızın adımlarını sıradan inceleyecek olursak ilk olarak ‘PSO’ adında bir sınıf tanımladım. Şimdi ise sırasıyla ‘PSO’ sınıfımızın içindeki fonksiyonlara ve işleyişlerine tek tek göz atalım.

### 5.2.2 Değişkenlerin tanımlanması

Genetik algoritma ve diğer tüm algoritmalarda olduğu gibi ilk başta değişkenlerimizi tanımlamak önemlidir. Sınıfımız ilk çağırıldığında bu fonksiyon otomatik olarak dönmektedir bundan dolayı bu fonksiyonun içine diğer işlemlerden önce yapılmasını



istediğimiz tüm işlemleri yazmalıyız. Ben bu kısımda arayüzden girdi olarak aldığımız temel değişkenleri tanımladım.

### **5.2.3 Parçacıklar ve parçacıkların kimlik bilgileri**

Bu kısımda sürümüze ait her bir parçacığın ayrı ayrı kimlik bilgilerini tutmaktayız. Bunlar; parçacığın o anki konumu, parçacığın tüm zamanlarda çözüme en çok yaklaştığı konumu, parçacığın şu anki uygunluk değeri, parçacığın tüm zamanlardaki en yüksek uygunluk değeri ve parçacığın hızıdır.

### **5.2.4 Dizi faktörü**

Bu fonksiyonumuzun içinde lineer anten dizilerine ait denkleminizi tanımlarız, bu fonksiyon parametre olarak antenleri faz farklarının değer aralığını, antenlerinin genliklerinin değer aralığını ve antenlerin konumlarının değer aralığını alır.

### **5.2.5 Parçacık üretici**

Bu fonksiyonumuz, sürüye rasgele olarak yeni parçacıklar atamaktadır.

### **5.2.6 Parçacıkların hız ve konum bilgilerinin güncellenmesi**

Bu fonksiyonumuz, her jenerasyonda parçacıkların yeni konumlarını belirlememizi sağlamaktadır.

### **5.2.7 Uygunluk değerinin hesaplanması**

Bu fonksiyonumuz, sürüdeki parçacıkların optimal çözüme olan uzaklıklarını yani uygunluk değerlerini hesaplayıp, parçacıkları puanlandırmaktadır.

### **5.2.8 Parçacık sürü optimizasyonu**

Bu kısımda tanımlamış olduğumuz fonksiyonları belirli bir hiyerarşi içerisinde tek tek çağıracağız. Fonksiyonumuz tanımlamış olduğumuz iterasyon sayısı kadar dönecektir. Fonksiyonumuz son olarak ise bizlere gerekli olan grafik çizimlerini yapacaktır.

## 6. ANTEN DİZİLERİNİN OPTİMİZASYONU İÇİN ARAYÜZ TASARIMI

Tezin bu kısmına kadar antenlerden, anten dizilerinin optimizasyonundan ve optimizasyon algoritmalarından bahsettik şimdi ise tüm bu bahsettiğimiz konuları interaktif bir arayüze aktaralım. Tasarlayacağımız arayüz anlattığımız tüm bu konuları kapsayacak şekilde olmalı ve yapay zekâ destekli çalışmalı. Adım adım arayüzün tasarımını inceleyelim ve nasıl yaptığımıza bakalım.

Tasarlanan arayüzde ana fonksiyon olan anten dizilerinin optimize edilebileceği menüde kullanıcılara, optimize etmek istediği anten dizisi topolojisi, hangi sezgisel algoritmayı kullanmak istediği, anten dizisindeki anten sayısı ve anten dizisindeki hangi parametrelerin (konumları, genlikleri, faz farkları) değişmesini, değişen parametrelerin hangi değer aralığında değişmesi gerektiği seçenek olarak sunulmuştur.

Arayüzde optimizasyonun gerçekleştirileceği menünün yanında, kullanıcıların anten dizileri ve sezgisel algoritmalar ile ilgili temel bilgilere erişebileceği, sezgisel algoritmaların akış diyagramlarını ve kodlarını görebileceği menülerde programa eklenmiştir.

Kullanıcılar farklı algoritmalar ile gerçekleştirdiği optimizasyonların verilerini kayıt altına alabilmektedir ve sonrasında bu verileri aynı anda arabirim üzerinden karşılaştırabilmektedir. Arabirim üzerinde grafik destekli olarak görebileceği veriler sayesinde kullanıcılar yapmış oldukları optimizasyon hakkında daha detaylı bilgiye ulaşabilmektedir.

### 6.1 Arayüzün Tasarımında Kullanılacak Mimari

Günümüzde arayüz geliştiricilerinin karşısında çok fazla seçenek bulunmaktadır. Arayüz geliştiricilerinin en sık kullandıkları programlama dilleri ise, Java, Python ve C# gibi nesne tabanlı güncel dillerdir. Tabi burada tasarladığımız arayüzün hangi platformda çalışacağı da önem arz etmektedir. Farklı platformlar farklı işletim sistemleri için farklı diller kendi içinde kolaylıklar sunabilmektedir. Biz bu kısımda Windows tabanlı bir program geliştireceğimiz için C# dilini tercih ettik. C# programlama dili direkt olarak Windows'un sahibi olan Microsoft şirketinin geliştirdiği bir dildir. C# ile birlikte Windows tabanlı programlar geliştirmek çok kolaydır. Günümüzde birçok geliştirici bireysel olsun kurumsal olsun C#'ı bu konuda tercih

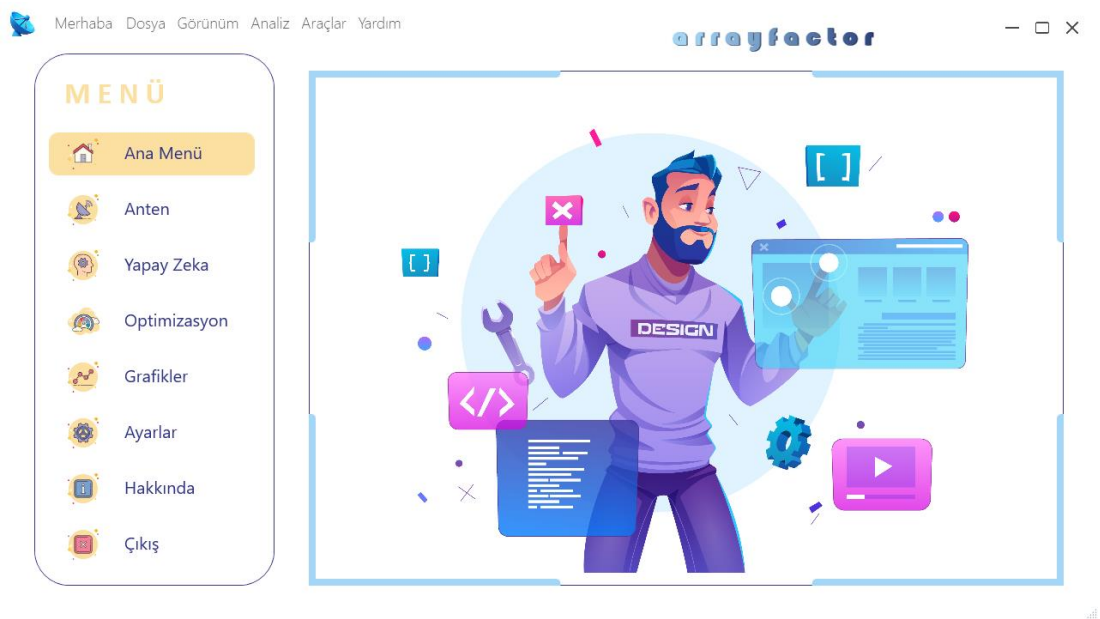
etmektedir.

C#'ta Windows tabanlı arayüz geliştirebileceğimiz birden fazla araç bulunmaktadır; Form, WPF... Biz bu çalışmamızda WPF mimarisini kullandık. WPF mimarisi Form mimarisine kıyasla çok daha güncel bir teknolojiye sahiptir. Bu sebeple çok daha profesyonel arayüzler geliştirmek mümkündür.

WPF mimarisinden bahsedecek olursak; WPF Visual Studio üzerinde C# geliştiricilerine sunulan görsel tasarım ortamıdır. Bu araç ile birlikte kullanıcılar görsel açıdan her aşamasına müdahale edebileceği uygulamalar geliştirebilmektedir. Bu noktada ise karşımıza XAML (Genişletilebilir Uygulama İşaretleme Dili) çıkmakta. WPF ile arayüz geliştirmek için XAML işaretleme dilini bilmek önemlidir. XAML, Microsoft tarafından .NET uygulamaları için statik ya da dinamik kullanıcı arayüzleri oluşturmak üzere geliştirilmiş, yeni bir nesne tabanlı markup (işaretleme) dilidir [63-65].

## 6.2 Arayüzün Genel Yapısı

Arayüzün genel yapısında kullanıcıların önüne farklı menüler arasında kolaylıkla geçişler yapabileceği bir menü gelmektedir. Aynı zamanda üst kısımda yer alan araç çubuğu ile birlikte kullanıcılar yapmak istedikleri işlemleri çok daha hızlı ve pratik bir şekilde gerçekleştirebilmektedir.

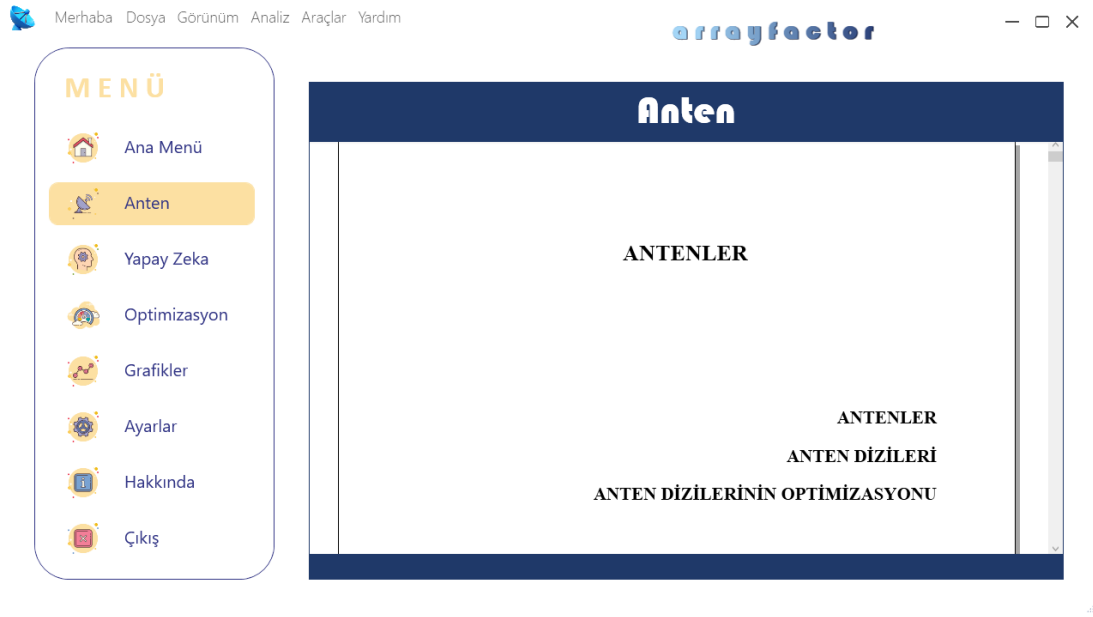


Resim 6.1. Arayüzün ana sayfası

Resim 6.1’de gördüğümüz programın ilk açıldığında karşımıza çıkan ekran ‘Ana Menü’ sayfasıdır. Arayüzün üst kısmında araç çubuğu yer alırken sol kısmında ise sayfalar arası geçiş yapabileceğimiz menü yer almaktadır. Menüde farklı sayfaların yer aldığını görmekteyiz. Bu sayfalardan ilki ‘Ana Menü’ sayfasıydı, diğer sayfaları da sırasıyla ayrıntılı bir şekilde inceleyelim.

### 6.3 Antenler Hakkında Kaynak

Bu sayfamızda kullanıcılara antenler hakkında kapsamlı bir kaynak sunmaktayız. Kullanıcılar bu sayfa aracılığıyla optimizasyon işlemlerini yapmanın yanı sıra antenler hakkında da bilgi edinebilecekler. Bu sayfanın arka planında PDF görüntüleyiciye benzer bir yapı çalışmaktadır ve bu yapı aracılığıyla yapmış olduğum araştırmalar sonucu elde ettiğim bilgileri kullanıcılara aktarabilmekteyim.



Resim 6.2. Anten sayfası

### 6.4 Yapay Zekâ Hakkında Kaynak

Bu sayfamızda ‘Anten’ sayfamız ile benzer yapıdadır. Bu sayfamızda ‘Anten’ sayfamızdan farklı olarak antenler yerine yapay zekâ hakkında kullanıcılara kapsamlı bir kaynak sunmaktadır. Bu bilgilere ek olarak arka planda çalışan optimizasyon algoritmalarına da bu kaynakta yer verilmiştir. Yine bu sayfamızın arka planında da

PDF görüntüleyiciye benzer bir yapı çalışmaktadır ve bu yapı aracılığıyla yapmış olduğum araştırmalar sonucu elde ettiğim bilgileri kullanıcılara aktarabilmekteyim.



Resim 6.3. Yapay zekâ sayfası

## 6.5 Optimizasyon İşlemlerinin Gerçekleştirilmesi

Bu sayfa projemizin kendisini oluşturmaktadır. Bu sayfa ile birlikte kullanıcılar farklı yapay zekâ algoritmaları ile farklı dizi anten topolojilerini kolaylıkla optimize edebilmektedir. Şu anlık sadece lineer anten dizileri optimize edilebilmektedir. Bu sayfayı açtığımızda karşımıza ilk olarak farklı sezgisel algoritmaları seçebildiğimiz bir sayfa karşılamaktadır bizleri. Bu kısımda ilk etapta Genetik Algoritma ve Parçacık Sürü Optimizasyonu algoritmaları kullanıcılara seçenek olarak sunulmuştur. İlerleyen süreçte algoritma ve dizi anten topoloji sayısı artırılması hedeflenmektedir.



Resim 6.4. Optimizasyon sayfası

### 6.5.1 Genetik algoritma ile optimizasyon işlemleri

Kullanıcı eğer ‘GA’ butonuna tıklayacak olursa karşısına ‘Genetik Algoritma’ paneli çıkacaktır. Bu panel iki kısımdan oluşmaktadır. Panelin sol üst kısmından gerekli parametre ayarlamaları yapılabilirken sol alt kısımda ise programın çalıştırıldıktan sonraki bize verdiği çıktıların görüntüleneceği listeler yer almaktadır. Panelin sağ kısmında ise tasarlanan anten dizisinin ışıma örüntüsü kullanıcılara sunulmaktadır.



Resim 6.5. Genetik algoritma paneli

### 6.5.2 Parçacık sürü optimizasyonu ile optimizasyon işlemleri

Kullanıcı eğer 'PSO' butonuna tıklayacak olursa karşısına 'Parçacık Sürü Optimizasyonu' paneli çıkacaktır. Bu panelin yapısı Genetik Algoritma paneli ile birebir aynıdır. Aralarındaki tek fark algoritmaların içerdiği farklı parametre ayarlamalarıdır.



Resim 6.6. Parçacık sürü optimizasyonu paneli

## 6.6 Grafik Karşılaştırma İşlemleri

Bu panel aracılığı ile kullanıcılar optimize ettikleri farklı anten dizilerini veri tabanından çekerek ışıma örüntülerinin karşılaştırmasını kolaylıkla yapabilmektedirler.



Resim 6.7. Grafikler paneli

## 6.7 Programın Çalışabilmesi İçin Gerekli Ayarlamaların Yapılması

Bu sayfada kullanıcılara gerekli olan dosya yollarını seçmeleri için butonlar atanmıştır. Arka planda çalışan yapay zekâ algoritmaları Python ile kodlanmıştır ve arayüz bu algoritmaları çalıştırabilmek için Python derleyicisine ihtiyacı vardır. Kullanıcı kendi bilgisayarında yer alan Python derleyicisini ‘Python Derleyici Dosya Seç’ butonuna tıklayarak seçebilmektedir. Buna ek olarak kullanıcının kendi algoritmalarını da yükleyebilmesi için algoritmaları seçebileceği butonlarda eklenmiştir. Bu sayede kullanıcı kendi geliştirdiği algoritmaları bu sayfadan dosya yolunu seçerek arayüz üzerinden optimizasyon testlerini yapabilecektir. Son olarak ise kullanıcı veri tabanının kayıt altına alınmasını istediği dosya yolunu yine bu sayfadan seçebilmektedir.



Merhaba Dosya Görünüm Analiz Araçlar Yardım

**arrayfactor**

**MENÜ**

- Ana Menü
- Anten
- Yapay Zeka
- Optimizasyon
- Grafikler
- Ayarlar**
- Hakkında
- Çıkış

**Ayarlar**

**DOSYA YOLU**

Python Derleyici

Dosya Seç

Genetik Algoritma

Lineer

Dairesel

Parçacık Sürü Optimizasyonu

Lineer

Dairesel

Veri Tabanı

Dosya Seç

Giriş Yap

Kayıt Ol

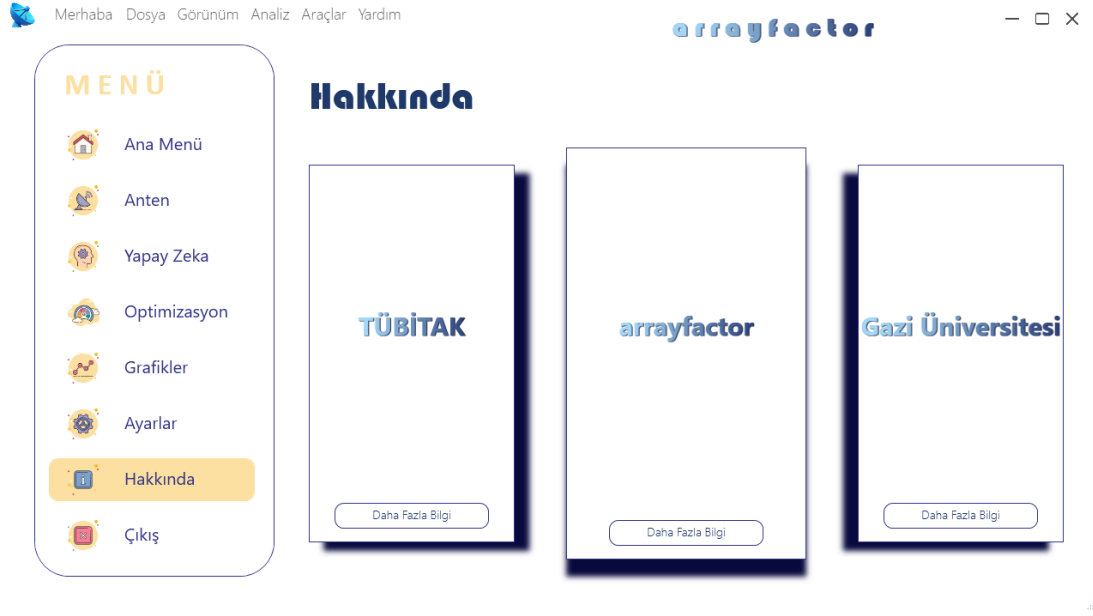
Güncelle

Bildir

Resim 6.8. Ayarlar sayfası

## 6.8 Proje Hakkında Bilgiler

Bu sayfada proje hakkında bilgiler kullanıcılara üç başlık altında sunulmuştur. Bunlar; projemizi destekleyen ‘TÜBİTAK’, projenin yapıldığı kurum ‘Gazi Üniversitesi’ ve projenin başlığı olan ‘arrayfactor’. Bu başlıklar altında kullanıcılara kısa bilgiler vermek amacıyla paneller oluşturulmuştur.



Resim 6.9. Hakkında sayfası görünüm 1



Resim 6.10. Hakkında sayfası görünüm 2

## 6.9 Veri Tabanı

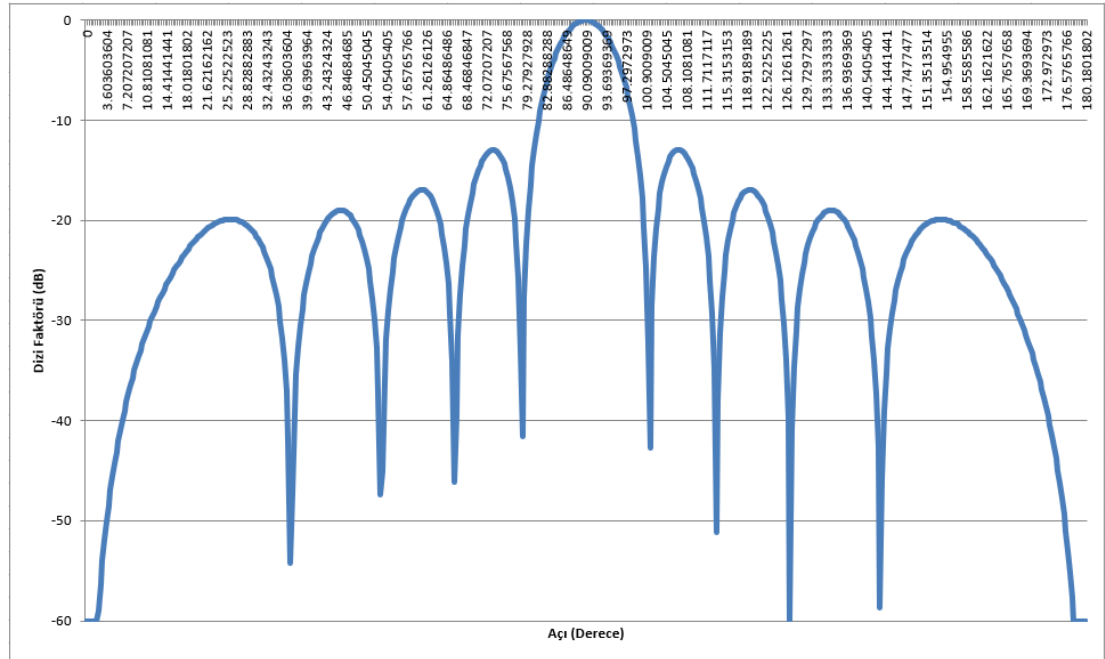
Bu kısım arayüzde yer almamaktadır. Arayüzümüzde yaptığımız optimizasyonların sonuçları ayarlardan seçmiş olduğumuz dosya yoluna 'Excel' dosyası olarak kayıt altına alınmaktadır. Kullanıcılar bu sayede istediği zaman istediği optimizasyon

sonuçlarına kolaylıkla erişebilmektedir. Aşağıda bu ‘Excel’ dosyasının yapısı yer almaktadır.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1		Parametreler		B Sınırlar (Faz)	D Sınırlar (Genlik)	W Sınırlar (Konum)	Bant Genişliği	SLL	Açılar (Derece)	Dizi Faktörü (dB)
2	İterasyon Sayısı	10		90	0.5	1	10.44	-12.96534992	0	-60
3	Bit Sayısı	16		90	0.5	1			0.36036036	-60
4	Popülasyon Sayısı	20		90	0.5	1			0.720720721	-60
5	Çaprazlama Oranı	0.9		90	0.5	1			1.081081081	-60
6	Mutasyon Oranı	0.0625		90	0.5	1			1.441441441	-60
7	Anten Sayısı	10		90	0.5	1			1.801801802	-60
8	B Sınırlar (Faz)	90	90	90	0.5	1			2.162162162	-59.02790927
9	D Sınırlar (Genlik)	0.5	0.5	90	0.5	1			2.522525253	-56.35055963
10	W Sınırlar (Konum)	1	1	90	0.5	1			2.882882883	-54.03154088
11				90	0.5	1			3.243243243	-51.98626064
12									3.603603604	-50.1569708
13									3.963963964	-48.50249314
14									4.324324324	-46.99243445
997									358.5585586	-60
998									358.9189189	-60
999									359.2792793	-60
1000									359.6396396	-60
1001									360	-60
1002										

Resim 6.11. Veri tabanında veriler

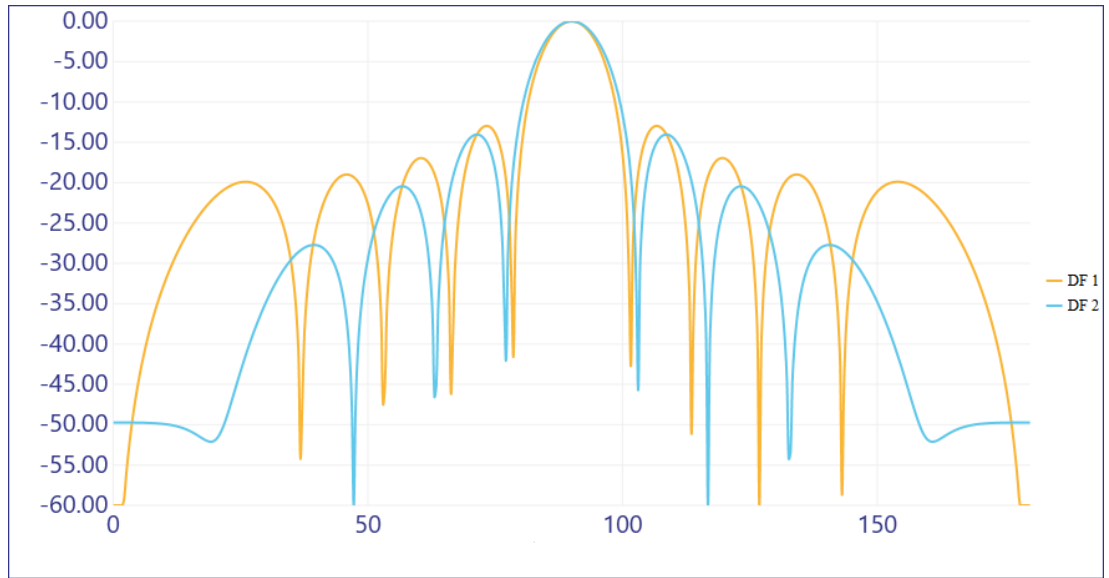
Arayüz tarafından oluşturulan ‘Excel’ dosyasının A, B ve C sütunlarında arayüz üzerinden seçmiş olduğumuz parametrelerin değerleri yer almaktadır. D, E, F, G, H, I ve J sütunlarında ise optimizasyon sonucu elde edilen sonuçlar yer almaktadır. Bunlara ek olarak sonuçların grafiksel çıktısı da yine ‘Excel’ dosyasında kullanıcılara sunulmaktadır.



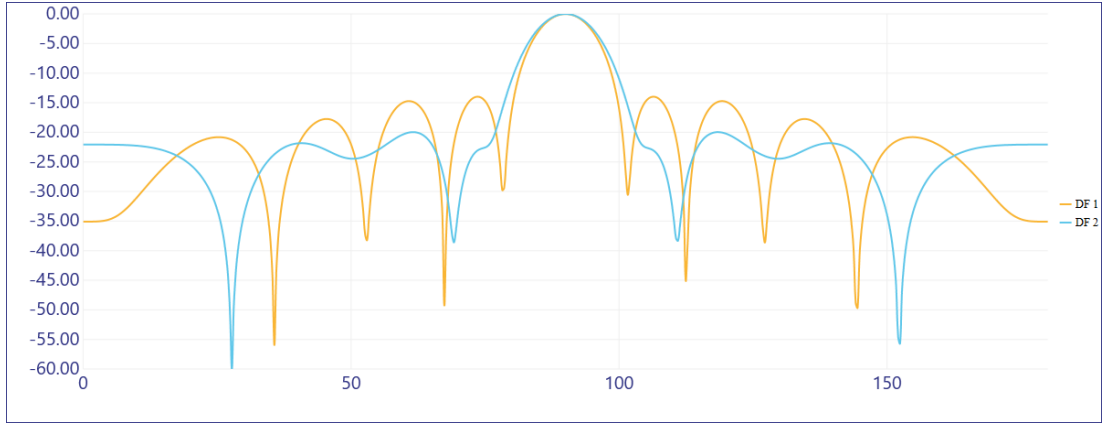
Resim 6.12 Veri tabanında görselleştirilmiş veriler

## 7. OPTİMİZASYON SONUÇLARI

Arayüz üzerinden yapmış olduğumuz birkaç optimizasyonun sonucunu birlikte inceleyelim. İlk olarak tekrardan optimizasyon sonucunda hedeflediğimiz dönütleri ele alacak olursak, anten dizilerinin optimizasyonunda yapılan optimizasyonun sonucunda SLL (Yan Lob Seviyesi), HPBW (Yarım Güç Bant Genişliği), yönlülük ve boş kontrol parametrelerinde iyileştirmeler hedeflenmektedir. Yan bantlar bastırılırken, yarım güç bant genişliğinde daralma meydana gelmesi ana hedefimizdir. Biz optimizasyon işlemlerimizi sezgisel algoritmalar ile gerçekleştirdik. Sezgisel algoritmalar ile çalıştırılma sürelerine bağlı olarak çok daha iyi sonuçlar elde etmek mümkündür. Elimizde mevcut olan giriş seviye bir bilgisayar ve kısa süreli bir çalışma sonucu elde etmiş olduğumuz sonuçları şimdi beraber inceleyelim.



Resim 7.1. Örnek optimizasyon sonucu 1



Resim 7.2. Örnek optimizasyon sonucu 2

Üst kısımda yer alan grafiklerde görebileceğimiz üzere hedeflerimizden biri olan yan bantlar bastırılmıştır fakat yarım güç bant genişliğinde daralma meydana gelmemiştir. Bunun nedeni üst kısımda da bahsettiğimiz gibi tamamen algoritmanın çalıştırılma süresi ile alakalıdır. Güçlü bir bilgisayarda yüksek popülasyon ve yüksek iterasyon sayısı altında algoritmamızı uzun süreler çalıştıracak olursak çok daha iyi sonuçlar elde etmemiz mümkün olacaktır.

## 8. SONUÇ

Yapmış olduğumuz bu tez çalışmasında anten dizi topolojilerinin optimizasyonunu farklı meta-sezgisel algoritmalarla yardım alarak gerçekleştirdik. Literatürde yer alan meta-sezgisel algoritmaları lineer anten dizilerine uyarlayarak, yan bantları bastırılmış ve aynı zamanda daha dar bir bant genişliğine sahip bir ışıma örüntüsü elde ettik. Geliştirmiş olduğumuz bu optimizasyon algoritmalarını yine geliştirmiş olduğumuz arayüze entegre ettik böylece yapay zekâ tabanlı bir optimizasyon programı elde etmiş olduk. Geliştirdiğimiz bu program sayesinde kullanıcılar anten dizilerine dair tüm işlemlerini kolaylıkla gerçekleştirebilecektir. Literatürdeki benzer uygulamaların birçoğunun kapalı kaynak olması nedeniyle bu alandaki araştırmacıların zorluk çekmesine çözüm olmak amacıyla projedeki kodlar açık kaynak olarak ‘GitHub’ üzerinden araştırmacılar ile paylaşılmıştır. Projenin sonunda hedeflenen optimizasyonlar gerçekleştirilmiş olup algoritmaların sağlıklı bir şekilde çalıştığı gözlemlenmiştir. Arayüzdeki iyileştirme çalışmalarına sonraki zamanlarda devam edilecektir. Lisans tezinin sonucu olarak literatüre antenler ve yapay zekâ algoritmaları hakkında kapsamlı bir kaynak olan yeni bir açık kaynak arayüz kazandırılmıştır.

## KAYNAKLAR

- [1] Sharma, A. (2022). Antenna Array Pattern Synthesis Using Metaheuristic Algorithms: A Review. IETE Technical Review, 1-26.
- [2] Ishteyaq, I., & Muzaffar, K. (2022). Multiple input multiple output (MIMO) and fifth generation (5G): an indispensable technology for sub-6 GHz and millimeter wave future generation mobile terminal applications. International Journal of Microwave and Wireless Technologies, 14(7), 932-948.
- [3] Rocca, P., Yang, F., Poli, L., & Yang, S. (2019). Time-modulated array antennas—theory, techniques, and applications. Journal of Electromagnetic Waves and Applications, 33(12), 1503-1531.
- [4] Kumar, S., Dixit, A. S., Malekar, R. R., Raut, H. D., & Shevada, L. K. (2020). Fifth generation antennas: A comprehensive review of design and performance enhancement techniques. IEEE Access, 8, 163568-163593.
- [5] Park W, Wang Lei, Brüns H D, et al. Introducing a mixed-mode matrix for investigation of wireless communication related to orbital angular momentum[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2019, 67(3): 1719–1728.doi: 10.1109/TAP.2018.2889033
- [6] Zhang Yiming and LI Jialin. An orbital angular momentum-based array for in-band full-duplex communications[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2019, 18(3): 417–421.doi: 10.1109/LAWP.2019.2893035
- [7] Shah, S. I. H., Radha, S. M., Park, P., & Yoon, I. J. (2021). Recent Advancements in Quasi-Isotropic Antennas: A Review. IEEE Access.
- [8] Abulgasem, S., Tubbal, F., Raad, R., Theoharis, P. I., Lu, S., & Iranmanesh, S. (2021). Antenna designs for CubeSats: A review. IEEE Access, 9, 45289-45324.
- [9] Adesoye, A. S., Popoola, J. J., & Fadamiro, A. O. Mutual Coupling in a Collocated Dipole Antenna Setup: A Comprehensive Review.
- [10] Miliadis, C., Andersen, R. B., Lazaridis, P. I., Zaharis, Z. D., Muhammad, B., Kristensen, J. T., ... & Hermansen, D. D. (2021). Metamaterial-inspired antennas: A review of the state of the art and future design challenges. IEEE Access.

- [11] Reynaud, C. A., Duché, D., Simon, J. J., Sanchez-Adaime, E., Margeat, O., Ackermann, J., ... & Escoubas, L. (2020). Rectifying antennas for energy harvesting from the microwaves to visible light: A review. *Progress in Quantum Electronics*, 72, 100265.
- [12] Sarkar, D., Mikki, S., & Antar, Y. M. (2020). Representation of electromagnetic energy around antennas: Current research and future directions. *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, 63(5), 61-71.
- [13] Tribelsky, M. I., & Miroshnichenko, A. E. (2022). Resonant scattering of electromagnetic waves by small metal particles: a new insight into the old problem. *Physics-Uspekhi*, 65(1), 40.
- [14] Mishra, B., Verma, R. K., Yashwanth, N., & Singh, R. K. (2022). A review on microstrip patch antenna parameters of different geometry and bandwidth enhancement techniques. *International Journal of Microwave and Wireless Technologies*, 14(5), 652-673.
- [15] Mohammed, A. S., Kamal, S., Ain, M. F., Ahmad, Z. A., Ullah, U., Othman, M., & Hussin, R. (2019). Microstrip patch antenna: A review and the current state of the art. *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems*, 11(7), 510-524.
- [16] Christina, G. (2022). A Review on Novel Microstrip Patch Antenna Designs and Feeding Techniques. *IRO Journal on Sustainable Wireless Systems*, 4(2), 110-120.
- [17] İnternet: [https://tr.m.wikipedia.org/wiki/RF\\_enerji\\_hasatlama](https://tr.m.wikipedia.org/wiki/RF_enerji_hasatlama)
- [18] Kalaiyarasan, R., Nagarajan, G., & Seenuvasamurthi, S. (2022). The state of the art design methodology of sierpinski carpet fractal structures in microstrip patch antenna.
- [19] Patre, SR and Singh, SP (2015) CPW-fed flower-shaped patch antenna for broadband applications. *Microwave and Optical Technology Letters* 57, 2908–2913.
- [20] Lotfi Neyestanak, AA (2008) Ultra wideband rose leaf microstrip patch antenna. *Progress in Electromagnetics Research* 86, 155–168.
- [21] Bansal, A., & Gupta, R. (2020). A review on microstrip patch antenna and feeding techniques. *International Journal of Information Technology*, 12(1), 149-154.



- [22] Wagih, M., Weddell, A. S., & Beeby, S. (2020). Rectennas for radio-frequency energy harvesting and wireless power transfer: A review of antenna design [antenna applications corner]. *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, 62(5), 95-107.
- [23] Dash, S. K. K., & Khan, T. (2019). Recent developments in bandwidth improvement of dielectric resonator antennas. *International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering*, 29(6), e21701.
- [24] Jha, J. *Smart Antennas: Technological Advances in Wireless Communication Networks*.
- [25] Ikram, M., Sultan, K., Lateef, M. F., & Alqadami, A. S. (2022). A Road towards 6G Communication—A Review of 5G Antennas, Arrays, and Wearable Devices. *Electronics*, 11(1), 169.
- [26] Nissan, U. N., & Singh, G. (2019, November). Terahertz antenna for 5G cellular communication systems: a holistic review. In *2019 IEEE International Conference on Microwaves, Antennas, Communications and Electronic Systems (COMCAS)* (pp. 1-6). IEEE.
- [27] Internet: <https://www.analog.com/en/analog-dialogue/articles/phased-array-beamforming-ics-simplify-antenna-design.html>
- [28] Federico, G., Caratelli, D., Theis, G., & Smolders, A. B. (2021). A review of antenna array technologies for point-to-point and point-to-multipoint wireless communications at millimeter-wave frequencies. *International Journal of Antennas and Propagation*, 2021.
- [29] Schroeder, F. G. (2023). Digital Antenna Arrays for Ultra-High-Energy Cosmic Particles. *Large Area Networked Detectors for Particle Astrophysics*, 59-91.
- [30] Geyi, W. (2021). The method of maximum power transmission efficiency for the design of antenna arrays. *IEEE Open Journal of Antennas and Propagation*, 2, 412-430.
- [31] Praveena, A., & Ponnappalli, V. S. (2019, January). A review on design aspects of fractal antenna arrays. In *2019 International Conference on Computer Communication and Informatics (ICCCI)* (pp. 1-3). IEEE.

- [32] Ogurtsov, S., Caratelli, D., & Song, Z. (2021). A Review of Synthesis Techniques for Phased Antenna Arrays in Wireless Communications and Remote Sensing. *International Journal of Antennas and Propagation*, 2021.
- [33] Satheesh, K. P., & Balakumaran, T. (2021). Design of a Pentagon Slot-based Multi-band Linear Antenna Array for Energy-efficient Communication: Future Challenges and Applications in Green Technologies. *Green Engineering and Technology*, 357-367.
- [34] Peng, W., Zhang, X., He, Z., Xie, J., & Han, C. (2021). Beampattern synthesis for large-scale antenna array via accurate array response control. *Digital Signal Processing*, 117, 103152.
- [35] Osaba, E., Villar-Rodriguez, E., Del Ser, J., Nebro, A. J., Molina, D., LaTorre, A., ... & Herrera, F. (2021). A tutorial on the design, experimentation and application of metaheuristic algorithms to real-world optimization problems. *Swarm and Evolutionary Computation*, 64, 100888.
- [36] Wong, W. K., & Ming, C. I. (2019, June). A review on metaheuristic algorithms: recent trends, benchmarking and applications. In *2019 7th International Conference on Smart Computing & Communications (ICSCC)* (pp. 1-5). IEEE.
- [37] J. H. Holland, "Genetic Algorithms and Adaptation", *Adaptive Control of Ill-Defined Systems*. NATO Conference Series (II Systems Science), vol. 16, 1984.
- [38] W. Liang and Y. Li, "Research on optimization of flight scheduling problem based on the combination of ant colony optimization and genetic algorithm", *2014 IEEE 5th International Conference on Software Engineering and Service Science*, pp. 296-299, 2014.
- [39] P. Kuo, Y. Ho, K. Lee, L. Tai and T. S. Li, "Development of Humanoid Robot Simulator for Gait Learning by Using Particle Swarm Optimization", *2013 IEEE International Conference on Systems Man and Cybernetics Manchester*, pp. 2683-2688, 2013.

- [40] M. Balamurugan, S. Narendiran, S. K. Sahoo, R. Das and A. K. Sahoo, "Application of particle swarm optimization for maximum power point tracking in PV system", Proc. 3rd Int. Conf. Elect. Energy Syst., pp. 35-38, 2016.
- [41] Katoch, S., Chauhan, S. S., & Kumar, V. (2021). A review on genetic algorithm: past, present, and future. *Multimedia Tools and Applications*, 80(5), 8091-8126.
- [42] Lambora, A., Gupta, K., & Chopra, K. (2019, February). Genetic algorithm-A literature review. In 2019 international conference on machine learning, big data, cloud and parallel computing (COMITCon) (pp. 380-384). IEEE.
- [43] Mirjalili, S., Song Dong, J., Sadiq, A. S., & Faris, H. (2020). Genetic algorithm: Theory, literature review, and application in image reconstruction. *Nature-inspired optimizers*, 69-85.
- [44] Hassanat, A., Almohammadi, K., Alkafaween, E. A., Abunawas, E., Hammouri, A., & Prasath, V. S. (2019). Choosing mutation and crossover ratios for genetic algorithms—a review with a new dynamic approach. *Information*, 10(12), 390.
- [45] Engelbrecht, A. P., & Cleghorn, C. W. (2020, July). Recent advances in particle swarm optimization analysis and understanding. In *Proceedings of the 2020 Genetic and Evolutionary Computation Conference Companion* (pp. 747-774).
- [46] Igiri, C. P., Singh, Y., & Poonia, R. C. (2020). A review study of modified swarm intelligence: particle swarm optimization, firefly, bat and gray wolf optimizer algorithms. *Recent Advances in Computer Science and Communications (Formerly: Recent Patents on Computer Science)*, 13(1), 5-12.
- [47] Nayak, J., Swapnarekha, H., Naik, B., Dhiman, G., & Vimal, S. (2022). 25 Years of Particle Swarm Optimization: Flourishing Voyage of Two Decades. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 1-63.
- [48] Kala, D. D., & Sundari, D. T. (2021). A review on optimization of antenna array by evolutionary optimization techniques. *International Journal of Intelligent Unmanned Systems*.

- [49] Satrusallya, S., & Mohanty, M. N. (2022). Antenna Array Optimization for Side Lobe Level: A Brief Review. *Biologically Inspired Techniques in Many Criteria Decision Making*, 53-59.
- [50] Goudos, S. K., Diamantoulakis, P. D., Matin, M. A., Sarigiannidis, P., Wan, S., & Karagiannidis, G. K. (2022). Design of Antennas through Artificial Intelligence: State of the Art and Challenges. *IEEE Communications Magazine*, 60(12), 96-102.
- [51] Kesarwani, A. K., Yadav, M., Singh, D., & Gautam, G. D. (2022). A review on the recent applications of particle swarm optimization & genetic algorithm during antenna design. *Materials Today: Proceedings*, 56, 3823-3825.
- [52] Zardi, F., Nayeri, P., Rocca, P., & Haupt, R. (2020). Artificial intelligence for adaptive and reconfigurable antenna arrays: A review. *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, 63(3), 28-38.
- [53] Zitar, R. A. (2022, November). A Review of the Genetic Algorithm and JAYA Algorithm Applications. In *2022 15th International Congress on Image and Signal Processing, BioMedical Engineering and Informatics (CISP-BMEI)* (pp. 1-7). IEEE.
- [54] Rawat, B., Duwal, D., Phuyal, S., & Pant, A. (2022). A Comparative Review Between Various Selection Techniques In Genetic Algorithm For Finding Optimal Solutions.
- [55] Bothra, S. K., & Singhal, S. (2021). Nature-inspired metaheuristic scheduling algorithms in cloud: a systematic review. *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*, 21(4), 463-472.
- [56] Aladdin, A. M., & Rashid, T. A. (2022). A New Lagrangian Problem Crossover: A Systematic Review and Meta-Analysis of Crossover Standerds. *arXiv preprint arXiv:2204.10890*.
- [57] Roseline, J. V., & Saravanan, D. (2019, November). Crossover and mutation strategies applied in job shop scheduling problems. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1377, No. 1, p. 012031). IOP Publishing.

- [58] Krishna Chaitanya, R., Raju, G. S. N., Raju, K. V. S. N., & Mallikarjuna Rao, P. (2019). Antenna pattern synthesis using the quasi Newton method, firefly and particle swarm optimization techniques. *IETE Journal of Research*, 1-9.
- [59] J. Song, H. Zheng and L. Zhang, "Application of particle swarm optimization algorithm and genetic algorithms in beam broadening of phase array antenna," *International Symposium on Signals, Systems and Electronics (ISSSE)*, pp. 17-20, 2010
- [60] G. Ram, D. Mandal, R. Kar and S. P. Ghosal, "Synthesis of time modulated linear antenna arrays using particle swarm optimization," *IEEE Region 10 Conference TENCON*, pp. 1-4, 2014.
- [61] A. Banookh, and S. M. Barakati, "Optimal Design of Double Folded Stub Microstrip Filter by Neural Network Modelling and Particle Swarm Optimization" *Journal of Microwaves, Optoelectronics and Electromagnetic Applications*, Vol. 11, No. 1, June 2012.
- [62] M. A. Haq, M. T. Afzal, U. Rafique, Q. D. Memon, M. A. Khan and M. M. Ahmed, "Log periodic dipole antenna design using particle swarm optimization," *International Journal on Electromagnetics and Applications*, Vol. 2, No. 4, pp. 65-68, 2012.
- [63] Padhy, N., Singh, R. P., & Satapathy, S. C. (2018). Utility of an object-oriented metrics component: examining the feasibility of. Net and C# object-oriented program.
- [64] Yang, T., Jiang, Z., Shang, Y., & Norouzi, M. (2021). Systematic review on next-generation web-based software architecture clustering models. *Computer Communications*, 167, 63-74.
- [65] Ardito, L., Coppola, R., Barbato, L., & Verga, D. (2020). A tool-based perspective on software code maintainability metrics: a systematic literature review. *Scientific Programming*, 2020.

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ÖZDEMİR, Yusuf  
Uyruğu : T.C.  
Doğum tarihi ve yeri : 12.10.2001 / ANKARA  
Medeni hali : Bekar  
Telefon : (+90) 543 594 00 87  
e-mail : yuozdemir.tr@gmail.com

### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lise	Sınav Anadolu Lisesi	2019

### Yabancı Dil

İngilizce  
Almanca

### Hobiler

Bisiklet sürmek, video oyunları oynamak, belgesel izlemek, yatırım yapmak, konsere gitmek...