

**T.C.  
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DİFERANSİYEL EVRİM ALGORİTMASI İLE MİKRODALGA ANTEN TASARIMI**

**MAHDI RANJBAR MOULE**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
HABERLEŞME PROGRAMI**

**DANIŞMAN  
PROF. DR. FİLİZ GÜNEŞ**

**İSTANBUL, 2017**

**T.C.**  
**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DİFERANSİYEL EVRİM ALGORİTMASI İLE MİKRODALGA ANTEN TASARIMI**

Mahdi RANBAR MOULE tarafından hazırlanan tez çalışması 19.12.2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Tez Danışmanı**

Prof. Dr. Filiz GÜNEŞ  
Yıldız Teknik Üniversitesi

**Eş Danışman**

Yrd. Doç. Dr. Mehmet Ali BELEN  
Artvin Çoruh Üniversitesi

**Jüri Üyeleri**

Prof. Dr. Filiz GÜNEŞ  
Yıldız Teknik Üniversitesi

\_\_\_\_\_

Prof. Dr. Fikret GÜRGEN  
Boğaziçi Üniversitesi

\_\_\_\_\_

Yrd. Doç. Dr. Lale ÖZYILMAZ  
Yıldız Teknik Üniversitesi

\_\_\_\_\_

## ÖNSÖZ

---

Bu çalışma Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı Haberleşme Programı için yüksek lisans bitirme tezi olarak hazırlanmıştır.

Bitirme tezimin bütün aşamalarında yakın ilgi, alakası ve yönlendirici önerileriyle katkıda bulunan başta tez danışmanlarım olan Prof. Dr. Filiz GÜNEŞ ve Yrd. Doç. Dr. Mehmet Ali BELEN olmak üzere, çalışmalarımın her aşamasında bilgi ve tecrübesiyle yardımlarını esirgemeyen ve ayrıca çalışmanın şekillenmesinde önemli katkıları olan Dr. Peyman MAHOUTI'ye sonsuz teşekkürlerimi ve saygılarımı arz eder ve ayrıca çalışma süresince her türlü yardımını esirgemeyen arkadaşım Yüksek Mühendis Aysu YILDIRIM ve Arş. Gör. Alper ÇALIŞKAN'a teşekkürlerimi ve saygılarımı sunmayı borç bilirim.

Ayrıca bitirme tezi hazırlama sürecinde ilgi ve desteğini esirgemeyen elektronik ve haberleşme mühendisliği öğretim üyelerine ve çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her alanında olduğu gibi yüksek lisans sürecinde maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme teşekkür ederim. Bunun yanında, çalışmalarım esnasında bana manevi destek sağlayan ve kaynak ve fikir alışverişinde bulunduğum diğer kişilere de sonsuz teşekkürlerimi arz ederim.

Aralık, 2017

Mahdi RANBAR MOULE

## İÇİNDEKİLER

|                                                                         | Sayfa |
|-------------------------------------------------------------------------|-------|
| SİMGE LİSTESİ .....                                                     | vi    |
| KISALTMA LİSTESİ .....                                                  | vii   |
| ŞEKİL LİSTESİ.....                                                      | vii   |
| ÇİZELGE LİSTESİ .....                                                   | ix    |
| ÖZET .....                                                              | x     |
| ABSTRACT .....                                                          | xii   |
| BÖLÜM 1                                                                 |       |
| GİRİŞ.....                                                              | 1     |
| 1.1    Literatür Özeti .....                                            | 1     |
| 1.2    Tezin Amacı .....                                                | 3     |
| 1.3    Hipotez .....                                                    | 3     |
| BÖLÜM 2                                                                 |       |
| YANSITICI DİZİ ANTEN .....                                              | 5     |
| BÖLÜM 3                                                                 |       |
| YSA TABANLI BİRİM HÜCRE TASARIMI .....                                  | 7     |
| BÖLÜM 4                                                                 |       |
| DİFERANSİYEL EVRİM ALGORİTMASI İLE YD ANTEN TASARIM OPTİMİZASYONU ..... | 14    |
| BÖLÜM 5                                                                 |       |
| SONUÇ VE ÖNERİLER .....                                                 | 19    |
| KAYNAKLAR.....                                                          | 20    |
| ÖZGEÇMİŞ.....                                                           | 23    |

## SİMGE LİSTESİ

---

|                 |                                                    |
|-----------------|----------------------------------------------------|
| d               | Düzlemdeki referans noktadan uzaklık               |
| D               | Mikroşerit yansıtıcı dizi'nin en uzun kenar değeri |
| F               | Odak uzaklığı                                      |
| G               | Halkanın sonundaki boşluk miktarı                  |
| GHz             | GigaHertz                                          |
| h               | Yükseklik                                          |
| H               | Odağın en geniş uzunluğa oranı                     |
| i               | X eksen boyunca koordinat                          |
| J               | Y eksen boyunca koordinat                          |
| K               | Halkaya ait kalınlık                               |
| l               | Beslemeden olan yol uzunluğu                       |
| N               | Nöron sayısı                                       |
| R               | Yapının iç yarıçapı                                |
| X               | Mikroşerit hücrenin uzunluğu                       |
| Y               | Mikroşerit hücrenin genişliği                      |
| $\Theta$        | Teta                                               |
| $\Phi$          | Fi                                                 |
| $\varnothing_r$ | Gerekli faz kayması                                |
| $\Pi$           | Pi sayısı                                          |
| $\Lambda$       | Çalışma frekansındaki dalga boyu                   |
| $\epsilon$      | Dielektrik katsayısı                               |

## KISALTMA LİSTESİ

---

|           |                                                 |
|-----------|-------------------------------------------------|
| BH        | Birim Hücre                                     |
| ÇKA (MLP) | Çok Katmanlı Algılayıcı (Multilayer Perceptron) |
| Cost      | Maliyet fonksiyonu                              |
| CST       | Computer Simulation Technology                  |
| DEA       | Diferansiyel Evrim Algoritması                  |
| GA        | Genetik Algoritma                               |
| MH (ME)   | Maksimum Hata (Maximum Error)                   |
| MYDA      | Mikroşerit Yansıtıcı Dizi Anten                 |
| OMH (MAE) | Ortalama Mutlak Hata (Mean Absolute Error)      |
| PY        | Parabolik Yansıtıcı                             |
| RAs       | Reflectarray Antennas (Yansıtıcı Dizi Anten)    |
| YD        | Yansıtıcı Dizi                                  |
| YSA       | Yapay Sinir Ağları                              |
| 3B (3D)   | 3 Boyutlu                                       |

## ŞEKİL LİSTESİ

|                                                                                                                                                        | Sayfa |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Şekil 1.1 Yansıtıcı dizi antenin dalga kılavuzu modeli.....                                                                                            | 2     |
| Şekil 2.1 Örnek bir yansıtıcı dizi anten.....                                                                                                          | 5     |
| Şekil 2.2 YD antenin şematik gösterimi.....                                                                                                            | 6     |
| Şekil 3.1 (a) birim hücreye ait şematik gösterim, (b) birim hücrenin 3B simülatör<br>düzenegi.....                                                     | 8     |
| Şekil 3.2 Değişik parametre değerlerine göre değişen Omega YD yapısının<br>görselleri.....                                                             | 8     |
| Şekil 3.3 ÇKA tabanlı YD birim hücrenin kara kutu modeli.....                                                                                          | 10    |
| Şekil 3.4 İkinci veri setine ait ortalama başarıma sahip model sonuçları.....                                                                          | 13    |
| Şekil 4.1 DEA' nın akış diagramı .....                                                                                                                 | 15    |
| Şekil 4.2 Örnek Bir Horn anten Yapısı.....                                                                                                             | 16    |
| Şekil 4.3 Örnek Horn antene ait simüle edilmiş (a) Geri donuş kaybı, (b) 3B uzak alan<br>ışım paterni, (c) polar düzlemde uzak alan kazanç değeri..... | 16    |
| Şekil 4.4 YD anten yapısına ait 3B (a) 4 te 1 ölçekli kesit, (b) tam yapı, (c) besleme<br>dahil YD anten yapısı.....                                   | 17    |
| Şekil 4.5 Omega YD antene ait simüle edilmiş (a) Geri dönüş kaybı, (b) 3B uzak alan<br>ışım paterni, (c) polar düzlemde uzak alan kazanç değeri.....   | 18    |

## ÇİZELGE LİSTESİ

|              | Sayfa                                                                            |
|--------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| Çizelge 3. 1 | Omega YD hücrelerinin YSA tabanlı model için değişken uzayı.....8                |
| Çizelge 3. 2 | YSA modeli için oluşturulmuş eğitim ve test verileri.....9                       |
| Çizelge 3. 3 | Kullanıcı tarafından seçilen çka tasarım parametresi.....9                       |
| Çizelge 3. 4 | 5 nöron ve eğitim seti 1 ile eğitilen YSA modelinin performans sonuçları.....10  |
| Çizelge 3. 5 | 10 nöron ve eğitim seti 1 ile eğitilen YSA modelinin performans sonuçları.....11 |
| Çizelge 3. 6 | 15 nöron ve eğitim seti 1 ile eğitilen YSA modelinin performans sonuçları.....11 |
| Çizelge 3. 7 | 15 nöron ve eğitim seti 2 ile eğitilen YSA modelinin performans sonuçları.....12 |
| Çizelge 3. 8 | 15 nöron ve eğitim seti 3 ile eğitilen YSA modelinin performans sonuçları.....12 |

### DİFERANSİYEL EVRİM ALGORİTMASI İLE MİKRODALGA ANTEN TASARIMI

Mahdi RANJBAR MOULE

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Filiz GÜNEŞ

Eş Danışman: Yrd. Doç. Dr. Mehmet Ali BELEN

Bu tez çalışmasında, Mikroşerit Yansıtıcı Dizi Anten (MYDA) yapıları incelenmiştir. Bu yapılar geleneksel parabolik antenler gibi performansa sahip olurken, daha basit, hafif, hem elektromanyetik hem de mekanik açıdan daha kullanışlıdır. Bu yapılara ait yüksek performanslı tasarımlar, yapıdaki her bir mikroşerit elemanın ayrı ayrı bir şekilde yansıma değerleri hesaplanması ile elde edilir. Yüksek performanslı bir MYDA tasarımıdaki en büyük engel, yüksek doğruluğa sahip, hızlı ve optimizasyona uygun bir birim elemanı tasarımının oluşturulmasıdır. 3B Simülatör programları ile bir MYDA optimizasyonunu yapmak son derece düşük verimli bir işlemdir. Nedeni ise, her bir benzetim evresinin uzun sürmesidir. Bu çalışmada, yapay zekâ algoritmaları kullanılarak bir mikroşerit birim elemanının geometrik ve malzeme parametrelerine bağlı frekans bandı boyunca, yansıma açısının karakterizasyonunun yapacak hızlı, doğruluğu yüksek bir araç tasarlanması amaçlanmıştır. Burada, X bant uygulamaları için Omega şeklindeki modelinin 3B simülatör programında elde edilen veriler ile çok katmanlı algılayıcı modeli oluşturulmuştur. Bu sayede, birim elemanın yansıma açısı, elemanın geometrik yapısı, malzeme parametrelerine bağlı frekans düzlemi boyunca sürekli bir fonksiyon olarak elde edilerek MYDA tasarımı ve optimizasyonu için hızlı, doğruluğu yüksek bir model elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Yapay sinir ağıları, X bant uygulamaları, omega yama, çok katmanlı algılayıcı

**ANTENNA DESIGN WITH DIFFERENTIAL EVOLUTION ALGORITHM**

Mahdi RANJBAR MOULE

Department of Electronics and Communications Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Prof. Dr. Filiz GÜNEŞ

Co-Adviser: Assist. Prof. Dr. Mehmet Ali BELEN

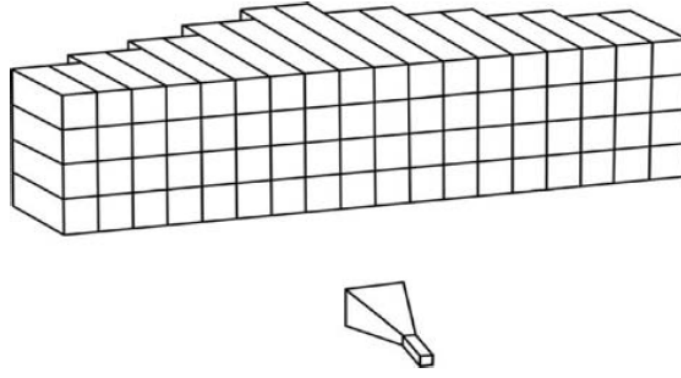
This project of thesis studies the Microstrip Reflectarray Antennas (RAs) structures. RA's are able to provide equivalent performance of a traditional parabolic reflector, but with simple and light electromagnetic and mechanical structures; this can be achieved by an effective control of the phase response of each microstrip element on the reflecting surface. Thus the main problem is the fast and accurate modelling of the unit microstrip patch to be used in the array optimization. Since using simulators in the optimization procedure is computationally very ineffective, herein artificial intelligence is used as a rapid and accurate tool for characterization of the reflection angle of the microstrip unit element in terms of its geometry, substrate parameters and frequency. For this purpose, modelling of Omega shaped patch within the X-band is considered using Multilayer Perceptron (MLP) neural network trained the 3D simulator data. Validation of the MLP model is also worked out successfully with the 3D CST data. Thus a continuous function is obtained for the reflection angle in the geometry, substrate and frequency domain of the microstrip patch unit element that ensures the reflectarray optimization procedure as fast as using the analytical functions and as accurate as the 3D simulators. In the paper, full-wave simulation- based MLP modelling of the Omega shaped microstrip patch is given in details.

**Keywords:** Artificial neural network, X-band, omega patch, multi-layer perceptron.

#### 1.1 Literatür Özeti

Parabolik Yansıtıcı (PY) ile bir düzlemsel faz dizi antenin üstünlüklerinin birleştirildiği anten yapısına Yansıtıcı Dizi (YD) anten denmektedir [1-6]. PY yapılarında olduğu gibi bu antenler, bir düzlem üzerine yerleştirilmiş çok sayıda mikroşerit yama elemanlarından oluşmaktadır. Her bir anten elemanı gelen dalgaya, reaktif bir yüzey gibi davranıp, uygun bir faz kaydırması ile tam yansıtarak, ışımının talep edilen bir  $(\theta, \phi)$  doğrultusunda maksimum olmasını sağlar. YD anten hüzme paterni şekillendirme ve tarama işlevlerinde geniş bir esnekliğe sahiptir. Ayrıca, parabolik yansıtıcı antenler eğri yüzeyleri nedeniyle özellikle milimetrik dalga frekanslarında “pürüzsüz” imal edilmeleri zor, hantal yapılardır. Ayrıca, geniş açıda hüzme tarama yeteneğinden de yoksundurlar [7-18].

Yansıtıcı dizi anten kavramı 1960 yıllarında kısa ya da açık devre değişken uzunluklu dalga kılavuzları kullanılarak, üzerlerine düşen dalgaları uzak alanda eş-faz düzlemi oluşturacak şekilde yansıtıp ışıma paterni teşkil edecek şekilde üretildi [1].



Şekil 1. 1 Yansıtıcı dizi antenin dalga kılavuzu modeli [2].

Her bir birim elemanın üstüne gelen elektromanyetik dalganın uygun şekilde yansıtılması ile yüksek performanslı düzlemsel bir anten yapısı elde edilebilir. Bu işlem 3B simülatör programlarında ciddi işlem yükleri ve uzun çalışma saatleri gerektirmektedir. Öte yandan literatürde var olan deneysel formüller ise ölçüm sonuçlarından büyük oranda farklılık gösterdikleri için her ne kadar hızlı olsalar da, optimum bir prototip anten tasarımında kullanılmaları uygun değildir. Bu tarz büyük ve işlem maliyeti yüksek yapıların tasarımı için kullanılan yöntemlerden biri Yapay Sinir Ağları (YSA)'dır. Devasa yapı YSA tabanlı birim hücrelere ayrıştırılarak daha basit bir hale getirilir. Daha sonra her bir birim hücreye ait geometrik değerine bağlı olan yansıma açısının hesaplanması bir çok boyutlu optimizasyon problemi olarak ele alınarak, daha etkin bir şekilde yansıtıcı dizi anten tasarımı yapılabilmektedir.

Yapay sinir ağları temel olarak, insan beyninin temel özelliklerinden olan öğrenme mekanizmasından esinlenilerek, birbirine bağlı yapay sinir hücrelerinden oluşmakta ve mevcut örneklerden yararlanarak öğrenme işlemini gerçekleştiren matematiksel yapılara verilen genel isimdir. Birbirine bağlı yapay sinir hücrelerinin oluşturduğu bağlantılar, ağırlık değerine sahiptir ve ağırlık sahip olduğu bilgiler bağlantılara dağıtılmıştır [19-22]. YSA'lar kullanılarak birçok mikrodalga devre katının, transistör, anten, iletim hattı gibi, yüksek doğrulukta ve hızlı sonuç veren modelleri oluşturulmuştur [23-28].

YSA ile elde edilen modellerin daha sonra çok değişkenli, çok hedefli optimizasyon problemlerinde temel eleman olarak kullanılarak yüksek hızda doğruluğu yüksek sonuçlar elde edilebilmektedir [27-28]. Bu tez kapsamında da benzer bir işlem gerçekleştirilerek YSA tabanlı bir yansıtıcı dizi anten elemanın birim hücresi tasarlandı

ve daha sonra dizi anten modelinin tasarım optimizasyonunu çok değişkenli bir problem olarak ele alınarak çözülmüştür.

## **1.2 Tezin Amacı**

Bu tez çalışması kapsamında, mikroşerit yansıtıcı dizi anten yapıları incelenecektir. Bu yapılara ait yüksek performanslı tasarımlar, ancak yapıdaki her bir mikroşerit elemanın ayrı ayrı efektif bir şekilde yansıma değerleri ayarlanarak elde edilebilmektedir. Bu işlemin yüksek doğruluğa sahip, hızlı bir birim mikroşerit yama elemanı tasarımının oluşturulması ve bu modelin optimizasyona uygun olması gerekmektedir. 3B Simülatör programları ile bir yansıtıcı dizi anten yapısının optimizasyonu yapmak, her bir benzetim denemesinin uzun sürmesi nedeni ile son derece düşük bir verimliliği olacaktır.

Bu tez çalışmasında, Yapay Sinir Ağları (YSA) algoritmaları kullanılarak bir mikroşerit birim elemanının yansıma açısının karakterizasyonunu yaparak, doğruluğu yüksek bir model oluşturulması hedeflenmiştir. Bu sayede, mikroşerit yama birim elemanın yansıma açısı elde edilerek yansıtıcı dizi anten tasarımı ve optimizasyonu için hızlı, doğruluğu yüksek bir model elde edilmiş olacaktır.

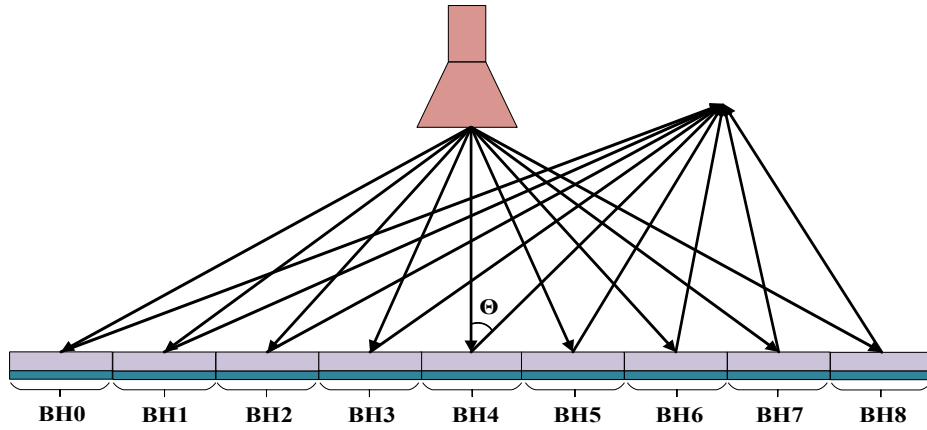
## **1.3 Hipotez**

YSA tabanlı yansıtıcı anten modelinin oluşturulması ancak, bir mikroşerit birim elemanının geometrik ve malzeme parametrelerine bağlı frekans bandı boyunca, yansıma açısının karakterizasyonunu yapılarak gerçekleştirilebilir. Bu amaca yönelik tez kapsamında, X bant uygulamaları için Omega şeklindeki mikroşerit yama modelinin 3B CST simülatör programında elde edilen veriler ile eğitilen çok katmanlı algılayıcı modeli oluşturulmuştur. Bu sayede, mikroşerit yama birim elemanın yansıma açısı, elemanın geometrik yapısı, malzeme parametrelerine bağlı frekans düzlemi boyunca sürekli bir fonksiyon olarak elde edilerek yansıtıcı dizi anten tasarımı ve optimizasyonu için hızlı, doğruluğu yüksek tasarım modeli elde edilmiştir. Daha sonra, elde edilen bu birim hücre modeli [27-28] benzer bir şekilde optimizasyon algoritmaları kullanımı ile X bant uygulamalarına yönelik bir yansıtıcı dizi anten tasarım optimizasyonu probleminde kullanılacaktır. Elde edilen modelin performans sonuçları 3B Simülatörler

ile de kıyaslanarak tasarımın doğruluğu kontrol edilmiş olacaktır. Bu sayede büyük boyutlardaki bir yansıtıcı dizi anten modelinin YSA ve meta sezgisel optimzasyon algoritmaları yardımı ile etkin, hızlı ve doğruluğu yüksek bir şekilde tamamlanmış olacaktır.

### YANSITICI DİZİ ANTEN

Yansıtıcı Dizi (YD) genellikle düz veya eğimli yüzeyine gelen elektromanyetik dalgaları belirli bir yönde düzlemsel eş faz alanı oluşturacak bir şekilde faz gecikmesini oluşturan yapılara verilen genel isimdir. Düzlemsel YD antenlerinde genellikle yapı birçok Birim Hücreden (BH) oluşur ve her bir BH gelen elektromanyetik dalga farklı bir yansıma açısı ile geri yansıtılarak tüm gelen ışınımın tek bir noktada odaklanmasını sağlar. Örnek bir düzlemsel YD yapısı şekil 2.1 de verilmiştir.



Şekil 2.1 Örnek bir yansıtıcı dizi anten.

Bir mikroşerit YD birim hücresinin gerek duyacağı teorik faz gecikmesi hesaplamaları şekil 2.2 de ve aşağıdaki denklemler ile tanımlanmaktadır [29].

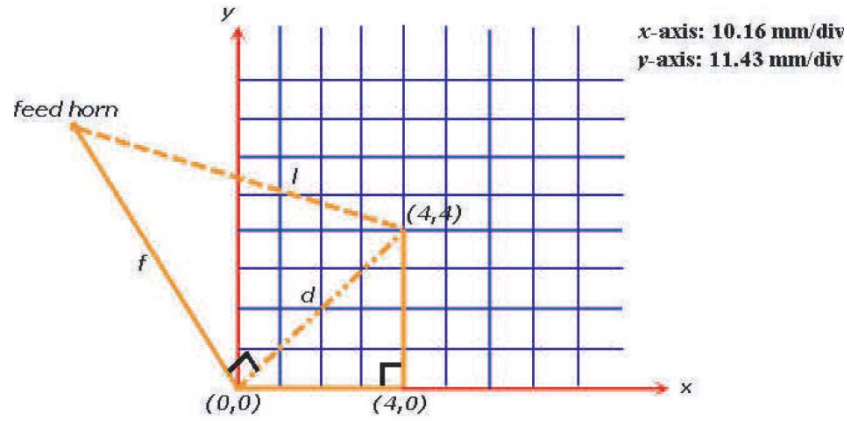
$$d_t = [\sqrt{[(t).x]^2 + [(t).y]^2}] \cdot 10^{-3} \quad (2.1)$$

$$f = DH \quad (2.2)$$

$$l = \sqrt{f^2 + d^2} \quad (2.3)$$

$$\phi_r = \frac{2\pi}{\lambda} (l - f) \quad (2.4)$$

Öyle ki, i: x eksenini boyunca koordinat, j: y eksenini boyunca koordinat, x: mikroşerit hücrenin uzunluğu, y: mikroşerit hücrenin genişliği, f: odak uzaklığı, D: mikroşerit YD'nin en uzun kenar değeri, H: odağın en geniş uzunluğa oranı, l: beslemeden olan yol uzunluğu, d: düzlemdeki referans noktadan uzaklık,  $\phi_r$ : gerekli faz kayması,  $\lambda$ : çalışma frekansındaki dalga boyu olmak üzere.



Şekil 2.2 YD antenin şematik gösterimi.

Yukarıda tanımlanan denklemler kullanılarak mikroşerit YD antende bulunan her bir birim hücreye ait gerekli faz kayması hesaplanarak tüm yapıya gelen elektromanyetik dalganın uygun bir şekilde istenilen yöne yansıtılması sağlanabilmektedir.

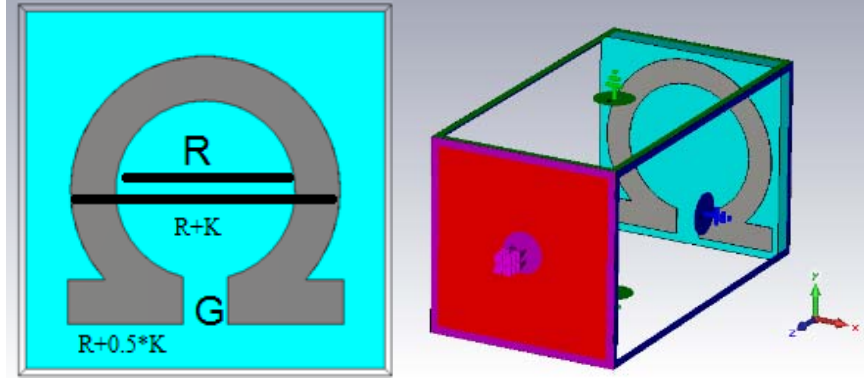
Burada gerekli olacak olan şey, her bir hücrenin geometrik ve üretim parametrelerine dayalı doğruluğu yüksek hızlı bir modelini oluşturmaktır bu sayede yapının bir optimizasyon algoritması ile birleşmesi sayesinde bu tarz tasarımların optimizasyonu yüksek performans ile sağlanabilecektir.

Tezin diğer bölümünde her bir birim hücrenin geometrik parametrelerine bağlı faz değişimini hesaplayacak bir yapay sinir ağının oluşum aşamaları incelenmiştir.

### YSA TABANLI BİRİM HÜCRE TASARIMI

Bu çalışmada çok yaygın ve popüler bir tasarım şekli olan Omega sembolü bir YD tasarımı için seçilmiştir. Omega harfi yunan alfabesinin yirmi dördüncü ve son karakteridir. Son karakter olması nedeni ile bu sembol aynı zamanda “son olan” ve “en üstün” anlamlarına da denk gelmektedir [30].

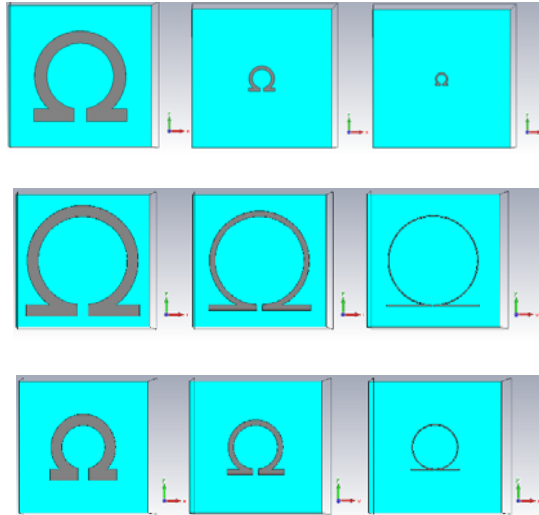
Şekil 3.1 de verilen birim Omega şekilli YD yapısına ait simülatör modeli değişken listesi ile birlikte verilmiştir. Tasarıma ait değişkenler yapının iç yarıçapı (R), halkaya ait kalınlık (K), ve halkanın sonundaki boşluk miktarı (G) ile gösterilmektedir. Çizelge 3.1 de yapay sinir ağının eğitim ve testi için kullanılacak olan veri setlerinin değişim sınırları verilmiştir. Şekilde 3.2 de Çizelge 3.1 deki değişkenler sınırında olan bazı senaryolara ait yapının geometrik değişimleri verilmiştir. Bu çalışma kapsamında tasarım uzayının basitleştirilmesi açısından, mikroşerit yapıya ait alt taş yapı malzemesinin yükseklik ( $h = 1.52 \text{ mm}$ ) ve dielektrik katsayıları ( $\epsilon_r = 6.15$ ) rogers 3006 malzemesine göre alınmıştır.



Şekil 3.1 (a) birim hücreye ait şematik gösterim, (b) birim hücrenin 3B simülasyon düzeneği.

Çizelge 3.1 Omega YD hücresinin YSA tabanlı model için değişken uzayı.

| Değişken    | Aralık  | Adım büyüklüğü |
|-------------|---------|----------------|
| R           | 0.5-1.1 | 0.1            |
| K           | 0.1-0.9 | 0.1            |
| f (GHz)     | 8-12    | 0.5            |
| Veri boyutu | 567     |                |



Şekil 3.2 Değişik parametre değerlerine göre değişen Omega YD yapısının görselleri.

Çizelge 3.1 deki 3B elektromanyetik dalga Simülasyon tarafından elde edilen veriler eğitim ve test verileri olarak iki guruba ayrılarak Yapay Sinir Ağının (YSA) eğitimi için

kullanılacaktır. Çizelge 3.2 de YSA yapısını eğitimi için kullanılacak olan verilere ait değerler verilmiştir. Bu tez kapsamında veriler 3 farklı duruma göre ayrılmıştır. Bu sayede YSA yapısının eğitim ve test verilerine olan hassasiyeti de incelenmiş olacaktır.

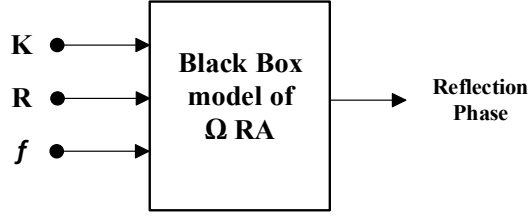
Çizelge 3. 2 YSA modeli için oluşturulmuş eğitim ve test verileri.

| Veri Seti   | Değişken               | Eğitim      | Test        |
|-------------|------------------------|-------------|-------------|
| 1           | R                      | 0.5:0.1:1.1 |             |
|             | K                      | 0.1:0.2:0.9 | 0.2:0.2:0.8 |
|             | f (GHz)                | 8:0.5:12    |             |
| Veri boyutu |                        | 315         | 252         |
| 2           | R                      | 0.5:0.2:1.1 | 0.6:0.2:1   |
|             | K                      | 0.1:0.1:0.9 |             |
|             | f (GHz)                | 8:0.5:12    |             |
| Veri boyutu |                        | 324         | 243         |
| 3           | Rastgele karıştırılmış | 284         | 283         |

YSA tabanlı YD birim hücre tasarımı için bu tez çalışmasında Çok Katmanlı Algılayıcı (ÇKA) modeli kullanılacaktır. ÇKA eğitim ve test işlemleri aşağıda çizelge 3.3 de verilen özellikler ile yapılmıştır. Önerilen ÇKA tabanlı YD birim hücre modelinin kara kutu şeması şekil 3.3 de verilmiştir.

Çizelge 3. 3 Kullanıcı tarafından seçilen çka tasarım parametresi.

|                                   |                        |
|-----------------------------------|------------------------|
| Gizli katmandaki nöron sayısı (N) | 5, 10, 15              |
| Aktivasyon fonksiyonu             | Tangent Sigmoid        |
| Eğitim algoritması                | Levenberg–Marquardt    |
| Maksimum eğitim adımı             | 2x(Eğitim veri sayısı) |



Şekil 3.3 ÇKA tabanlı YD birim hücrenin kara kutu modeli.

Tasarlanılan ÇKA modelinin başarımlı performansının denetlenmesi için denklem ortalama mutlak hata (OMH) (3.1) ve maksimum hata (MH) (3.2) kullanılmıştır. ÇKA yapılarının rastgele eğitimleri nedeni ile ortalama performans değerleri 10 defa koşulan eğitim ve test sonuçlarından elde edilmiştir.

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |T_i - P_i| \quad (3.1)$$

$$MXE = \max(|T_i - P_i|) \quad (3.2)$$

Ayrıca daha iyi bir performans kıyaslanması yapılması için, K=2 çapraz eğitim yapılmıştır. Çizelge 3.4-3.8 önerilen ÇKA tabanlı YD birim hücre yapısının değişik tasarım parametreleri ve eğitim verileri için sonuçları verilmiştir.

Çizelge 3. 4 5 nöron ve eğitim seti 1 ile eğitilen YSA modelinin performans sonuçları.

| Performans       |          | OMH   | MH     |
|------------------|----------|-------|--------|
| Çapraz katlama 1 | En iyi   | 0.11  | 1.67   |
|                  | En kötü  | 55.25 | 141.49 |
|                  | Ortalama | 32.54 | 85.99  |
| Çapraz katlama 2 | En iyi   | 0.24  | 12.05  |
|                  | En kötü  | 57.87 | 176.2  |
|                  | Ortalama | 33.18 | 113.46 |

Çizelge 3. 5 10 nöron ve eğitim seti 1 ile eğitilen YSA modelinin performans sonuçları.

| Performans       |          | OMH   | MH     |
|------------------|----------|-------|--------|
| Çapraz katlama 1 | En iyi   | 0.04  | 1.00   |
|                  | En kötü  | 54.48 | 141.63 |
|                  | Ortalama | 11.21 | 30.98  |
| Çapraz katlama 2 | En iyi   | 0.09  | 2.80   |
|                  | En kötü  | 42.54 | 156.36 |
|                  | Ortalama | 12.31 | 60.63  |

Çizelge 3. 6 15 nöron ve eğitim seti 1 ile eğitilen YSA modelinin performans sonuçları.

| Performans       |          | OMH  | MH    |
|------------------|----------|------|-------|
| Çapraz katlama 1 | En iyi   | 0.04 | 1.26  |
|                  | En kötü  | 0.30 | 2.17  |
|                  | Ortalama | 0.17 | 2.13  |
| Çapraz katlama 2 | En iyi   | 0.06 | 3.80  |
|                  | En kötü  | 0.38 | 13.78 |
|                  | Ortalama | 0.21 | 10.17 |

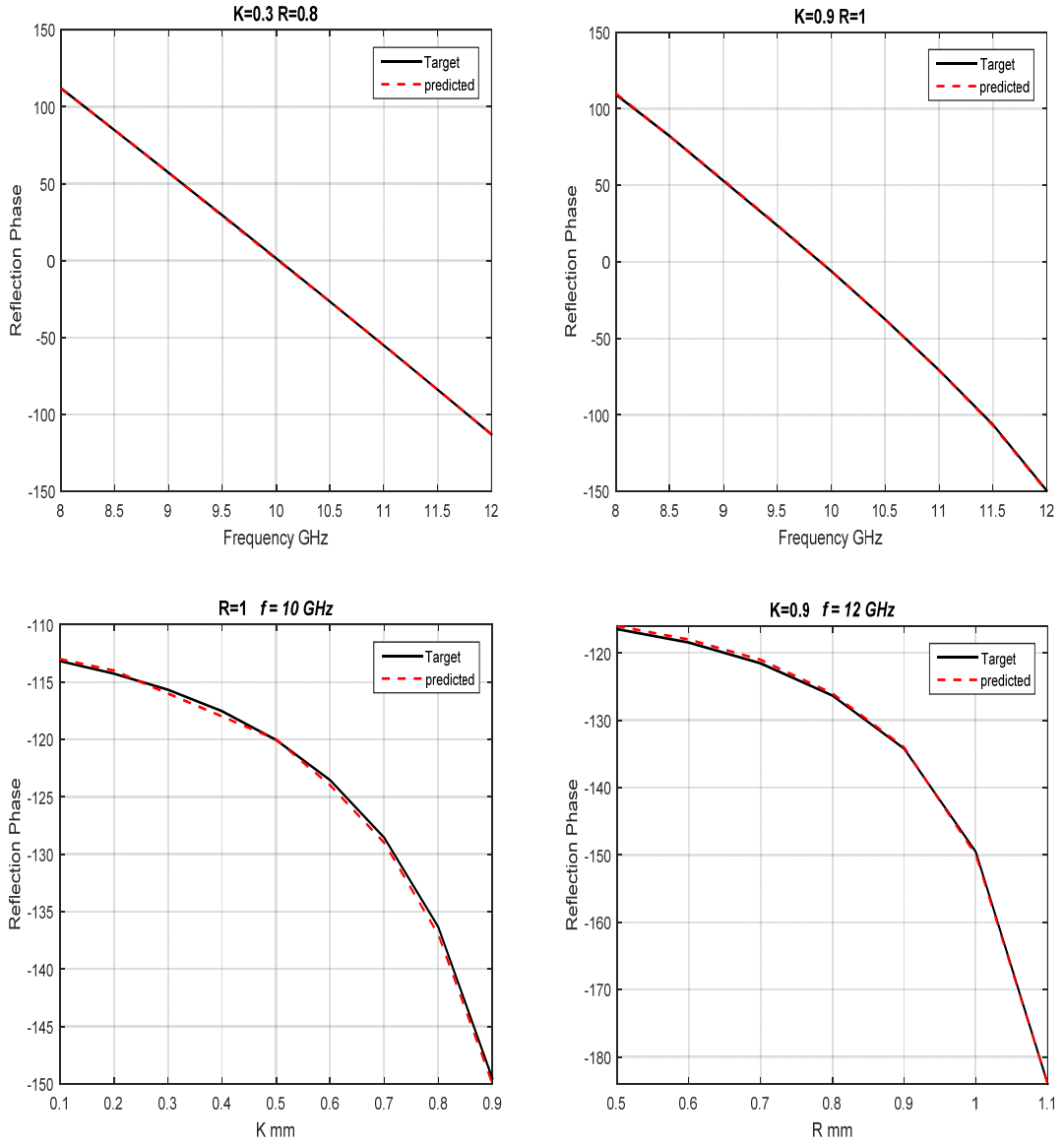
Çizelge 3. 7 15 nöron ve eğitim seti 2 ile eğitilen YSA modelinin performans sonuçları.

| Performans       |          | OMH  | MH    |
|------------------|----------|------|-------|
| Çapraz katlama 1 | En iyi   | 0.04 | 1.06  |
|                  | En kötü  | 0.27 | 1.85  |
|                  | Ortalama | 0.15 | 2.08  |
| Çapraz katlama 2 | En iyi   | 0.05 | 3.65  |
|                  | En kötü  | 0.25 | 12.06 |
|                  | Ortalama | 0.17 | 9.31  |

Çizelge 3. 8 15 nöron ve eğitim seti 3 ile eğitilen YSA modelinin performans sonuçları.

| Performans       |          | OMH  | MH    |
|------------------|----------|------|-------|
| Çapraz katlama 1 | En iyi   | 0.12 | 13.74 |
|                  | En kötü  | 0.25 | 23.10 |
|                  | Ortalama | 0.19 | 20.21 |
| Çapraz katlama 2 | En iyi   | 0.04 | 0.81  |
|                  | En kötü  | 0.32 | 3.122 |
|                  | Ortalama | 0.15 | 2.910 |

Tablolardan da görüldüğü üzere, gizli katmandaki nöron sayısı artıkça eğitimin de performansı artmaktadır ve tabi belli bir değere kadar bu durum geçerli olacaktır. Bu senaryoda optimal nöron sayısının 15 olduğu elde edilmiştir. Şekil 3.4 de ikinci veri setine ait ortalama başarıma sahip bir ÇKA modelinin performans karakteristikleri gösterilmiştir.



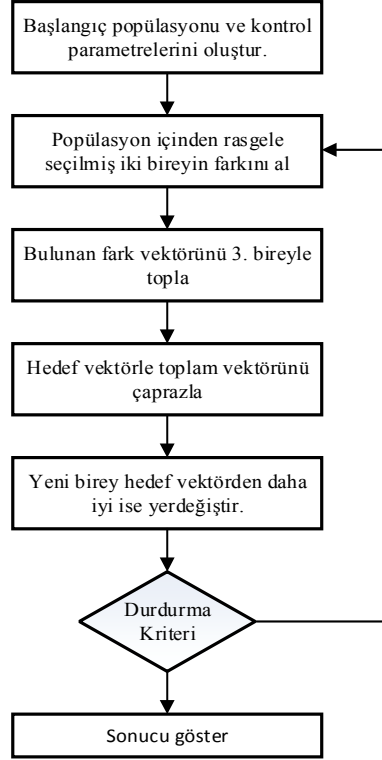
Şekil 3.4 İkinci veri setine ait ortalama başarıma sahip model sonuçları.

Çalışmanın gelecek bölümünde ise, oluşturulan bu birim hücre modelinin bir optimizasyon algoritması ile birleştirilerek bir YD anten tasarımının oluşturulması hedeflenmiştir.

### DİFERANSİYEL EVRİM ALGORİTMASI İLE YD ANTEN TASARIM OPTİMİZASYONU

Mikrodalga devre tasarımlarında son yıllarda sezgisel yöntemler kullanılarak doğrusal olmayan problemlerin çözümüne yönelik teknikler oluşturulmaktadır. Özellikle değişken sayısına ve veri tiplerine bağlı olarak problemlerin zorluk dereceleri de artabilmektedir. Bu tip problemlerin deterministik yöntemlerle çözümü, hem problemin yapısına bağlı olarak modellemede hem de çözüm sürecinde zorluklar içermektedir. Özellikle popülasyon temelli sezgiseller çok noktalı arama prosedürleri sayesinde, hızlı bir şekilde sonuç verebilmektedirler. Bunlardan bazıları; Genetik Algoritma (GA), bulanık mantık, karınca kolonisi algoritması, benzetilmiş tavlama dır. Genetik Algoritma (GA), şu ana kadar geliştirilmiş en popüler optimizasyon tekniklerindendir [31]. Ayrıca gerçek parametrelili problemlere yönelik olarak yeni genetik algoritmalar geliştirilmiştir [32]. Sürekli parametrelerin söz konusu olduğu problemlerin çözümüne yönelik geliştirilmiş algoritmalar dandır biri de Price ve Storn tarafından 1995 yılında geliştirilmiş olan Diferansiyel Evrim Algoritması (DEA)' dır [33]. Popülasyon tabanlı sezgisel bir algoritma olan DEA özellikle tamamen düzenlenmiş uzayda tanımlı ve gerçek değerli tasarım parametrelerini içeren fonksiyonları optimize etmek amacıyla kullanılan bir algoritmadır [34]. Geliştirildiğinden bu yana konuyla ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalardan bir kısmı algoritmanın iyileştirilmesi üzerinedir [35]. Farklı problemlere yönelik, farklı yapılar danda ve farklı parametrelerle çalışan birçok DEA geliştirilmiştir. GA' ya göre çok daha yeni sayılabilecek bir

optimizasyon tekniği olan DEA geliştirilmeye devam etmektedir. Doğadan esinlenilmiş bu bilgiler mikrodalga devrelerinin optimizasyonu, antenler ve tipik çalışmalar için kullanılmaktadır [36-37]. DEA ait akış şeması şekil 4.1 de verilmiştir. Şekilde de görüldüğü üzere, DEA algoritmasında ilk adım kontrol parametreleri ve başlangıç popülasyonunun oluşturulmasıdır. Daha sonra popülasyondaki bireylerin farkları ve bu farkların çaprazlanmaları prensibi ile çalışan bir optimizasyon algoritmasıdır.

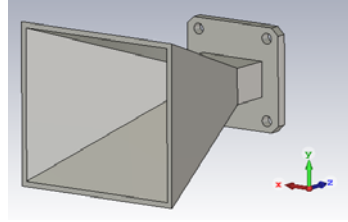


Şekil 4.1 DEA' nın akış diagramı [38].

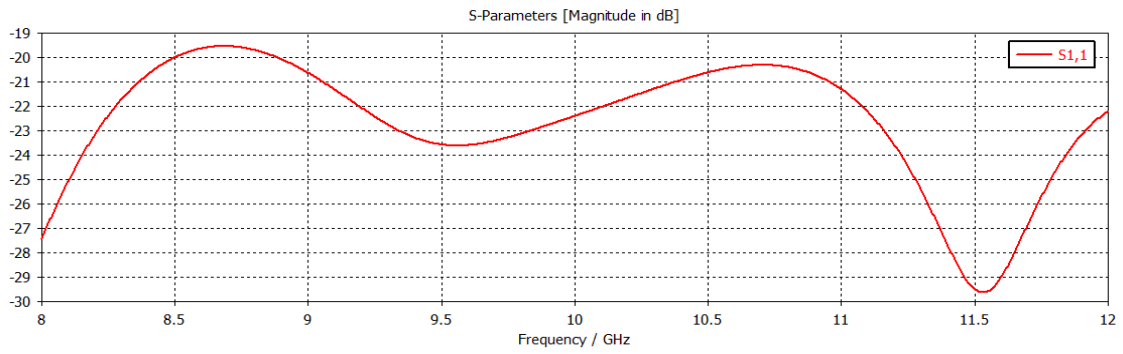
Bu çalışmada bölüm 2 de verilen Omega şeklindeki YD birim hücresinin geometrik parametreleri optimizasyon değişkeni olarak alınıp DEA kullanılarak optimal bir YD anten tasarım optimizasyonu yapılacaktır. Optimizasyon için kullanılacak olan maliyet fonksiyonu ise aşağıdaki gibi tanımlanmıştır. Bu sayede istenilen her bir frekansa gerekli olan faz gecikmesini sağlayacak elemanın gerekli geometrik boyutları elde edilecektir.

$$Cost(k, R, f) = |\theta_{CKA}(k, R, f) - \theta_r| \quad (4.1)$$

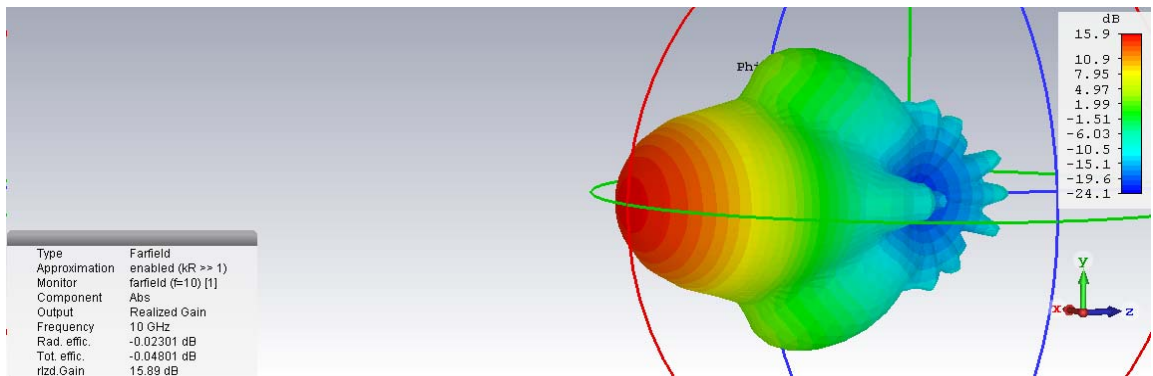
Şekil 4.2 de YD anten yapısının beslenmesi için X bandına çalışan örnek bir horn anten verilmiştir. Antene ait simülasyon sonuçları da şekil 4.3 arasında verilmiştir.



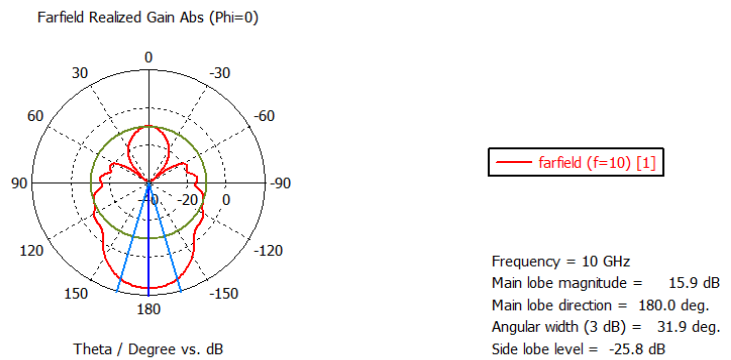
Şekil 4.2 Örnek Bir Horn anten Yapısı.



(a)



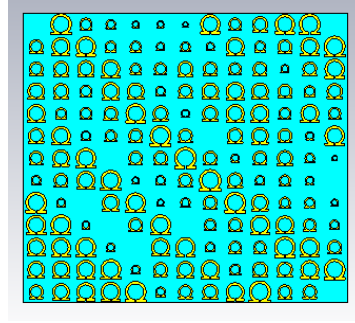
(b)



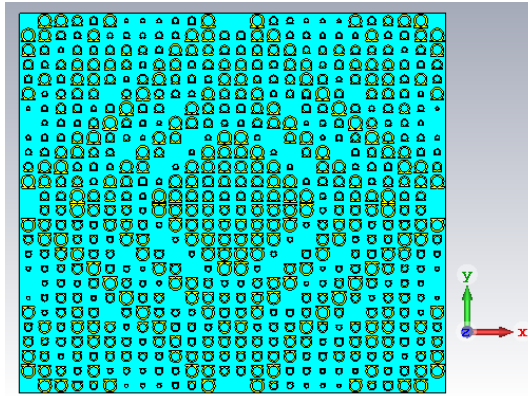
(c)

Şekil 4.3 Örnek Horn antene ait simüle edilmiş (a) Geri dönüş kaybı, (b) 3B uzak alan ışıma paterni, (c) polar düzlemde uzak alan kazanç değeri.

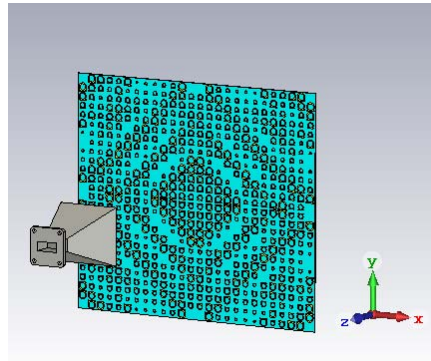
Şekil 4.3 de önerilen DEA sonucu olarak elde edilen Omega mikroşerit YD anten yapısı verilmiştir. Ayrıca şekil 4.5 de antene ait 3B simülatör çıktısı olan geri dönüş kaybı, ve kazanç performans sonuçları verilmiştir.



(a)

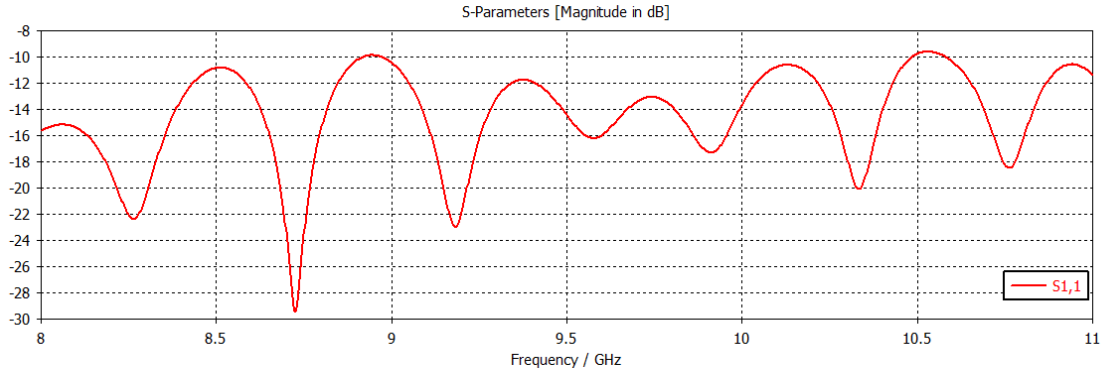


(b)

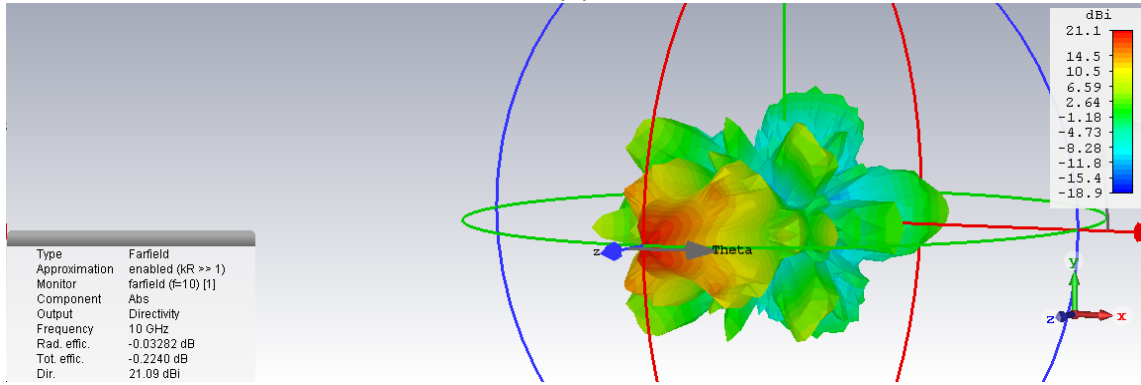


(c)

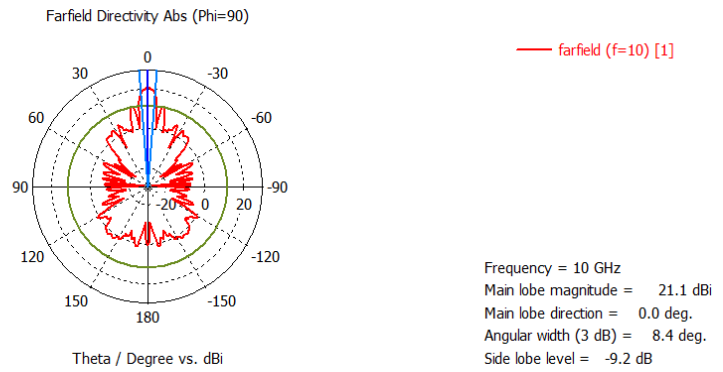
Şekil 4.4 YD anten yapısına ait 3B (a) 4 te 1 ölçekli kesit, (b) tam yapı, (c) besleme dâhil YD anten yapısı.



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.5 Omega YD antene ait simüle edilmiş (a) Geri dönüş kaybı, (b) 3B uzak alan ışıma paterni, (c) polar düzlemde uzak alan kazanç değeri.

### SONUÇ VE ÖNERİLER

Simülasyon sonuçlarından görüleceği üzere, önerilen ÇKA tabanlı Omega şekili YD birim hücre yapısı 3B elektromanyetik simülatöre kıyas ile benzer sonuçlar vermektedir. Buna ek olarak, bu yapının hızının yüksek olması çok kapsamlı ve büyük simülasyon yükü oluşturan simülasyon süreçlerine gerek kalmadan YD anten yapısının tasarım optimizasyonunu gerçekleştirmesi için uygun bir yapı olduğu görülmüştür. Bu savın doğrulunu göstermek için diferansiyel evrim algoritması kullanılarak bir YD anten yapısının tasarım optimizasyonu yapıldı ve elde edilen yapının yüksek bir kazançla sahip olduğu gözlemlendi.

İlerleyen çalışmalarda daha kapsamlı yapay zekâ algoritmalarının kullanımı ile daha detaylı ve çok daha yüksek doğruluğa sahip tasarım optimizasyonu işlemlerinin yapılması hedeflenmektedir.

## KAYNAKLAR

---

- [1] Berry, G., Malech, R.G., ve Kennedy, W.A., (1963). "The reflect array antenna", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 11: 645-651.
- [2] Huang, J., (1991). "Microstrip Reflectarray", IEEE AP-S/URSI Symposium Digest, London, Ontario, Canada.
- [3] Malagisi, C.S., (1978). "Microstrip Disc Element Reflect. Array", Electronics and Aerospace Systems Convention 186–192.
- [4] Montgomery, J.P., (1978). "A Microstrip Reflectarray Antenna Element", Antenna Applications Symposium, University of Illinois, 1978, Chicago.
- [5] Phelan, H., (1977). "Spiralphase Reflectarray for Multitarget Radar", Microwave Journal, 20: 67-73.
- [6] Zubir, F., Rahim, M., Ayop, O., Wahid, A., ve Majid, H.A., (2010). "Design and microstrip reflectarray antenna with Minkowski shape radiating element", Progress In Electromagnetics Research B, 24: 317 -331.
- [7] Pozar, D.M., ve Metzler, T.A., (1993). "Analysis of A Reflect Array Antenna Using Microstrip Patches of Variable Size", Electronics Letters, 27: 657–658.
- [8] Huang, J., Encinar, J.A., (2007). "Reflect Array Antennas", Wiley-IEEE Press, USA
- [9] Encinar, J.A., Arrebola, M., De la fuente, L. F. ve Toso, G., (2011). "Transmit-Receive Reflectarray Antenna For Direct Broadcast Satellite Applications", Antennas and Propagation, IEEE Transactions on, 59: 3255-3264.
- [10] Han, C., Huang, J. ve Chang, K., (2005). "A High Efficiency Offset-Fed X / Ka-Dual-Band Reflectarray Using Thin Membranes", Antennas and Propagation, IEEE Transactions On, 53: 2792-2798.
- [11] Tamminen, A., Mäkelä, S., Ala-Laurinaho, J. ve Häkli, J., (2013). "Reflectarray Design for 120-GHz Radar Application: Measurement Results", Antennas and Propagation, IEEE Transactions On, 61: 5036-5047.
- [12] Doumanis, E., Goussetis, G., Papageorgiou, G., Fusco, V., Cahill, R., ve Linton D., (2013). "Design Of Engineered Reflectors For Radar Cross Section Modification", Antennas And Propagation, IEEE Transactions On, 61: 232-239.

- [13] Tienda, C., Encinar, J.A., Arrebola, M., Barba, M. ve Carrasco, E., (2013). "Design, Manufacturing And Test Of A Dual-Reflectarray Antenna With Improved Bandwidth And Reduced Cross-Polarization," In Antennas And Propagation, IEEE Transactions On, 61: 1180-1190.
- [14] Chaharmir, M.R., Shaker, J., ve Legay, H., (2010). "Dual-Band Ka/X Reflectarray With Broadband Loop Elements", In Microwaves, Antennas & Propagation, Iet, 4: 225–231.
- [15] Encinar, J.A., ve Zornoza, J.A., (2004). "Three-Layer Printed Reflectarrays For Contoured Beam Space Applications, in Antennas and Propagation, IEEE Transactions On, 52: 1138-1148.
- [16] Carrasco, E., Barba, M. ve Encinar, J.A., (2012). "X-Band Reflectarray Antenna With Switching-Beam Using Pin Diodes And Gathered Elements", Antennas And Propagation, Ieee Transactions, 60: 5700-5708.
- [17] Carrasco, E., Barba, M., Encinar, J.A., Arrebola, M., Rossi, F. ve Freni, A., (2013). "Design, Manufacture And Test Of A Low-Cost Shaped-Beam Reflectarray Using A Single Layer Of Varying-Sized Printed Dipoles", Antennas And Propagation, IEEE Transactions, 61: 3077-3085
- [18] Moeini Fard, M. ve Khalaj-Amirhosseini, M., (2012). "Nonuniform Reflect-Array Antennas", Int J RF and Microwave Comp Aid Eng, 22: 575–580
- [19] Elmas, Ç., (2003). "Yapay Sinir Ağları (Kuram, Mimari, Uygulama)", Birinci Baskı, Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- [20] Öztemel, E., (2003), Yapay Sinir Ağları, Birinci baskı, Papatya Yayıncılık, İstanbul.
- [21] Fausett, L.V., ve Hall, P., (1994)., "Fundamentals of Neural Networks" Architectures, Algorithms and Applications, First Edition, Englewood Cliffs, NJ : Prentice-Hall,. USA.
- [22] Specht, D.F., (1991). A General Regression Neural Network, IEEE Trans. Neural Netw. 26: 568–576.
- [23] Güneş, F., Mahouti, P., Demirel, S., Belen, M. A., ve Uluslu, A., (2015) Cost-effective GRNN-based modeling of microwave transistors with a reduced number of measurements. 3 International Journal of Numerical Modelling: Electronic Networks, International journal of numerical modelling-electronic networks devices and fields. 29: 1-12,
- [24] Gunes, F., Belen, M. A., Mahouti, P., ve Demirel, S., (2016). "Signal and Noise Modeling of Microwave Transistors Using Characteristic Support Vector-based Sparse Regression", Radioengineering, 25: 490-499.
- [25] Mahouti, P., Gunes, F., Demirel, S., Uluslu, A. ve Belen, M.A., (2014). "Efficient scattering parameter modeling of a microwave transistor using Generalized Regression Neural Network," Microwaves, Radar, and Wireless Communication (MIKON), 16-18 Haziran 2014, Gdansk, POLONYA.

- [26] Mahouti, P., Güneş, F., Belen, M.A. ve Demirel, S., (2017). "Symbolic Regression for Derivation of an Accurate Analytical Formulation Using "Big Data": An Application Example", Applied Computational Electromagnetics Society Journal, 32: 372-380
- [27] Güneş, F., Demirel, S., Nesil, S., (2014). "A Novel Design Approach to X-Band Minkowski Reflectarray Antennas using the Full-Wave EM Simulation-based Complete Neural Model with a Hybrid GA-NM Algorithm", Radioengineering, 23: 144-153.
- [28] Güneş, F., Nesil, S. ve Demirel, S., (2013). "Design and Analysis of Minkowski Reflectarray Antenna Using 3-D CST Microwave Studio-Based Neural Network Model with Particle Swarm Optimization", International Journal Of Rf And Microwave Computer-Aided Engineering, 23: 272-284.
- [29] Zubir, F., Rahim, M.K.A., Ayop, O., Wahid, A. ve Majid, H.A., (2010). "Design And Analysis Of Microstrip Reflectarrayantenna With Minkowski Shape Radiating Element", Progress In Electromagnetics Research B, 24: 317–331.
- [30] Wikipedia Özgür Ansiklopedi, Omega, <https://en.wikipedia.org/wiki/Omega> 10.09.2017
- [31] Keskindürk, T., (2006). "Diferansiyel Gelişim Algoritması", İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 9: 85-99.
- [32] Michalewicz, Z., (1992). "Genetic Algorithms + Data Structure = Evolution Programs", First Edition, Springer & Verlag, USA.
- [33] Storn, R., ve Price, K., (1995). "Differential Evolution: A Simple and Efficient Adaptive Scheme for Global Optimization over Continuous Spaces", Technical Report TR-95-012, International Computer Science Institute, Berkeley, 11: 341-359.
- [34] Karaboga, D., (2004). "Yapay Zeka Optimizasyonu Algoritmaları", Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul.
- [35] Bergey, P.K. ve Ragsdale, C., (2005). "Modified Differential Evolution: A Greedy Random Strategy for Genetic Recombination", Omega, 33: 255-265.
- [36] Belen, M.A., Alıcı, M., Çor, A. ve Güneş, F., (2014). "Ateşböceği Algoritması ile Mikrodalga Transistör Performans Karakterizasyonu", Eleco 2014 Elektrik – Elektronik – Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu, 27-29 Kasım 2014, Bursa.
- [37] Belen A., Güneş F., Belen, M. A. ve Ranjbar Moule, M., (2017). "Diferansiyel Evrim Algoritması Kullanılarak Ekspansiyon Hatları ile Alçak Geçiren Filtre Tasarımı", ASYU 2017, 5-7 Ekim 2017, Alanya.
- [38] Yıldırım, A., Ranjbar Moule, M. ve Yıldırım, T., (2017). "Çok Geniş Bantlı Mikroşerit Bandgeçiren Filtre Tasarımına Yönelik Diferansiyel Evrim Algoritması Uygulaması", Mugla Journal of Science and Technology, 3: 69-72.

## ÖZGEÇMİŞ

---

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Mahdi RANJBAR MOULE  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : 09.09.1981 TEHRAN  
**Yabancı Dili** : Farsça, İngilizce, Türkçe  
**E-posta** : mr.ranjbarmoule@gmail.com

### ÖĞRENİM DURUMU

| Derece | Alan                              | Okul/Üniversite               | Mezuniyet Yılı |
|--------|-----------------------------------|-------------------------------|----------------|
| Lisans | Metalürji ve Malzeme Mühendisliği | Yıldız Teknik Üniversitesi    | 2014           |
| Lise   | Fen                               | İran İslam Cumhuriyeti Lisesi | 1999           |

## **YAYINLARI**

### **Makale**

1. Yıldırım, A., Ranjbar Moule, M. ve Yıldırım, T., (2017). “Çok Geniş Bantlı Mikroşerit Bandgeçiren Filtre Tasarımına Yönelik Diferansiyel Evrim Algoritması Uygulaması”, Mugla Journal of Science and Technology, 3: 69-72.

### **Bildiri**

1. Ranjbar Moule, M., Mahouti, P., Güneş, F. ve Belen, M.A., (2017). “Full-Wave Simulation-Based Phasing Characteristics of Microstrip Patches for Reflectarray Optimization with Neural Network”, ASYU 2017, 5 – 7 Ekim 2017, Alanya.
2. Belen, A., Güneş F., Belen, M. A. ve Ranjbar Moule, M., (2017). “Diferansiyel Evrim Algoritması Kullanılarak Eksponansiyel Hatlar ile Alçak Geçiren Filtre Tasarımı”, ASYU 2017, 5-7 Ekim 2017, Alanya.