

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

MİKROŞERİT YANSITICI DİZİ ANTENLER

GÖKHAN KAYA

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

**DANIŞMAN
PROF.DR. FİLİZ GÜNEŞ**

İSTANBUL, 2012

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MİKROŞERİT YANSITICI DİZİ ANTENLER

Gökhan KAYA tarafından hazırlanan tez çalışması 03.09.2012 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

Jüri Üyeleri

Prof.Dr. Filiz GÜNEŞ

Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç.Dr. Salih DEMİREL

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof.Dr. Sedef KENT

İstanbul Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Öncelikle, Mikroşerit Yansıtıcı Anten tasarımı konusunda tez hazırlamam da öncülük eden, yüreklendiren ve çalışmalarımın her aşamasında ilgi ve tecrübesini yanımda hissettiğim tez danışmanım Prof.Dr. Filiz Güneş'e değerli katkılarından ve desteklerinden dolayı şükranlarımı sunuyorum.

Birlikte bulunduğumuz zaman diliminde gösterdikleri sıcak ilgi ve sağladıkları uygun çalışma ortamı nedeniyle Yıldız Teknik Üniversitesi ve özellikle Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü ailesine de teşekkürlerimi sunuyorum.

Çalışmalarım esnasında bilgi, tecrübe ve arkadaşlıklarıyla yanımda olan Yıldız Teknik Üniversitesi EM Alanlar ve Mikrodalga Tekniği Anabilim Dalı ailesine teşekkürü bir borç bilirim.

Son olarak, üzerimdeki emeklerini hayatımın her anında hissettiğim değerli aileme teşekkür ederim.

Ağustos, 2012

Gökhan KAYA

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	vi
KISALTMA LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ÖZET.....	xii
ABSTRACT	xiii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı.....	3
1.3 Hipotez.....	3
BÖLÜM 2	
MİKROŞERİT YANSITICI DİZİ ANTENLER	8
2.1 Yansıtıcı Dizi Antenlere Giriş	8
2.1.1 Yansıtıcı Dizi Antenlerin Uygulama Alanları ve Sınıflandırılması ..	10
2.1.2 Yansıtıcı Dizi Antenin Özellikleri.....	13
2.1.3 Yansıtıcı Dizi Antenlenlerin Avantajları ve Dezavantajları.....	13
BÖLÜM 3	
PARABOLİK YANSITICI ANTENLER	15
3.1 Parabolik Yansıtıcı Anten ve Tasarım Formülleri.....	15
BÖLÜM 4	
DİZİ ANTENLER	18
4.1 Anten Dizileri Kavramı	18
4.2 Doğrusal Anten Dizileri.....	19
4.3 Düzlemsel Anten Dizileri	21
4.4 Dizi Antenlerin Faz Kayması	22
4.5 Dizi Antenlerin Avantajları ve Dezavantajları	23

BÖLÜM 5

YAPAY SİNİR AĞLARI(YSA)	24
5.1 Yapay Sinir Ağlarının Genel Özellikleri	25
5.2 Yapay Sinir Ağlarının Avantajları	26
5.3 Yapay Sinir Ağlarının Dezavantajları.....	26

BÖLÜM 6

MİKROŞERİT YANSITICI DİZİ ANTEN TASARIMI	28
6.1 Faz Gecikmesi Tespiti	28
6.2 Faz İhtiyacının Hesaplanması ve Analizi	31
6.3 Faz Gecikmesi Frekans İlişkisi	34
6.4 Birim Eleman Seçimi ve Faz Karakteristiğinin Tespiti	37
6.5 Birim Elemanın Yapay Sinir Ağı Modeli	46

BÖLÜM 7

TASARIM SONUÇLARI.....	55
------------------------	----

BÖLÜM 8

SONUÇ VE ÖNERİLER.....	66
KAYNAKLAR	69
ÖZGEÇMİŞ	70

SİMGE LİSTESİ

ϵ	Dielektrik sabiti
φ	Faz açısı
c	Işık hızı
β	Yol sabiti
λ	Dalga boyu
φ_0	x ekseninin yz düzlemi ile yaptığı açı
θ_0	z ekseninin xy düzlemi ile yaptığı açı

KISALTMA LİSTESİ

ÇKA	Çok katmanlı algılayıcı
EM	Elektromanyetik
MLPNN	Multilayer Perceptron Neural Network
MYD	Mikroşerit yansıtıcı dizi
TE	Transverse electric
TM	Transverse magnetic
TEM	Transverse ElectroMagnetic
YD	Yansıtıcı dizi
YSA	Yapay Sinir Ağları

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1	Yansıtıcı dizi antenin dalga klavuzu modeli.....	1
Şekil 1.2	Yansıtıcı antenin dört kollu spiral modeli	2
Şekil 1.3	Yansıtıcı antenin mikroşerit yamalar ile oluşturulmuş modeli.....	2
Şekil 1.4	Parabolik yansıtıcı,dizi anten ve mikroşerit yansıtıcı anten karşılaştırması	4
Şekil 1.5	Tasarlanacak yapay sinir ağının modeli	6
Şekil 1.6	Tasarımda kullanılacak algoritma	6
Şekil 2.1	Yansıtıcı dizi anten genel görünümü	9
Şekil 2.2	Yansıtıcı dizi anten kesit görünümü	9
Şekil 2.3	Yansıtıcı antenlerin sınıflandırılması.....	10
Şekil 3.1	Parabolik yansıtıcı anten.....	14
Şekil 3.2	Parabolik Yansıtıcı antenin polar ışıma diyagramı.....	15
Şekil 4.1	x-ekseni boyunca doğrusal anten dizisi	19
Şekil 4.2	y-ekseni boyunca doğrusal anten dizisi	19
Şekil 4.3	z-ekseni boyunca doğrusal anten dizisi	19
Şekil 4.4	xy-düzlemi boyunca doğrusal anten dizisi	20
Şekil 4.5	Faz kaymasının oluşması.....	21
Şekil 5.1	Dört giriş bir çıkışa sahip yapay sinir ağı modeli	24
Şekil 6.1	Besleme anteninin yakın alan analiz sonucu	27
Şekil 6.2	Besleme anteninin yansıtıcının farklı noktalarına olan yol farkı.....	28
Şekil 6.3	Yansıtıcı anten üzerindeki faz ihtiyaç analizi.....	29
Şekil 6.4	Faz ihtiyaç analizi için küresel yaklaşım modeli.....	30
Şekil 6.5	Anten boyutlarının sabit alınıp farklı F/D oranlarının faz ihtiyaç analizi ...	31
Şekil 6.6	Anten boyutlarının sabit alınıp farklı F/D oranlarının faz ihtiyaç analizi ...	32
Şekil 6.7	F/D oranlarının sabit alınıp farklı anten boylarının faz ihtiyaç analizi.....	33
Şekil 6.8	Aynı anten için farklı noktaların frekansa bağlı faz gecikme analizi	34
Şekil 6.9	Farklı F/D boylarının farklı anten boyları için faz değişim analizi	35
Şekil 6.10	Üç Boyutlu benzetim programında kullanılan dalga klavuzu modeli	36
Şekil 6.11	Dalga klavuzu analiz modeli	37
Şekil 6.12	Birim yama üzerine gönderilen elektrik alan ve manyetik alan bileşenleri	37
Şekil 6.13	Üç boyutlu benzetim programında kullanılan model aracılığıyla farklı uzunluklar için faz geciktirme karakteristiği.	38
Şekil 6.14	Farklı malzemeler kullanılarak kare ve daire yamalar için uzunluk başına faz geciktirme grafiği.....	38
Şekil 6.15	Farklı malzemeler kullanılarak kare ve daire halka yamalar için uzunluk başına faz geciktirme grafiği.....	39

Şekil 6.16	Farklı malzemeler kullanılarak iç içe kare halka yamalar için uzunluk(L1) başına faz geciktirme grafiği.....	40
Şekil 6.17	Farklı malzemeler kullanılarak iç içe daire halka yamalar için uzunluk(R1) başına faz geciktirme grafiği.....	41
Şekil 6.18	Maltacross yama için uzunluk(L) başına faz geciktirme grafiği	42
Şekil 6.19	Maltacross yamanın aynı dielektrik malzeme kullanılarak farklı kalınlıkları için uzunluk(L) başına faz geciktirme grafiği.....	43
Şekil 6.20	Minkowski yamanın aynı dielektrik malzeme kullanılarak farklı kalınlıkları için uzunluk(L) başına faz geciktirme grafiği.....	44
Şekil 6.21	Minkowski yamanın farklı dielektrik malzeme kullanılarak farklı kalınlıkları için uzunluk(L) başına faz geciktirme grafiği	45
Şekil 6.22	Üç boyutlu benzetim programı aracılığı ile elde edilen veriler eğitim verisi olarak kullanılmıştır	46
Şekil 6.23	Anten tasarımı için kullanılan algoritma	47
Şekil 6.24	Eğitim modeli	48
Şekil 6.25	Maltacross yamanın farklı alfa değerleri için uzunluk(L)başına faz geciktirme değerlerinin yapay sinir ağları modelinden elde edilen verilerle karşılaştırılması	49
Şekil 6.26	Maltacross yamanın farklı alfa değerleri için uzunluk(L)başına faz geciktirme değerlerinin yapay sinir ağları modelinden elde edilen verilerle karşılaştırılması	49
Şekil 6.27	Maltacross yamanın farklı alfa değerleri için uzunluk(L)başına faz geciktirme değerlerinin yapay sinir ağları modelinden elde edilen verilerle karşılaştırılması	50
Şekil 6.28	Maltacross yamanın farklı kalınlıklar için uzunluk (L) başına faz geciktirme değerlerinin yapay sinir ağları modelinden elde edilen verilerle karşılaştırılması	50
Şekil 6.29	Maltacross yamanın farklı kalınlıklar için uzunluk (L) başına faz geciktirme değerlerinin yapay sinir ağları modelinden elde edilen verilerle karşılaştırılması	51
Şekil 6.30	Maltacross yamanın farklı kalınlıklar için uzunluk (L) başına faz geciktirme değerlerinin yapay sinir ağları modelinden elde edilen verilerle karşılaştırılması	51
Şekil 6.31	Maltacross yamanın farklı kalınlıklar için uzunluk (L) başına faz geciktirme değerlerinin yapay sinir ağları modelinden elde edilen verilerle karşılaştırılması	52
Şekil 6.32	Genel çözüm algoritması	53
Şekil 7.1	Kare yamalar ile oluşturulmuş 16 cm uzunluğunda karesel yansıtıcı anten	54
Şekil 7.2	Yansıtıcı anten ve aynı boyutlardaki parabolik yansıtıcı antenin uzak alana paterninin karşılaştırması	55
Şekil 7.3	Maltacross yamalar ile oluşturulmuş 30 cm uzunluğunda karesel yansıtıcı anten.....	56
Şekil 7.4	Maltacross yansıtıcı anten ve aynı boyutlardaki parabolik yansıtıcı antenin uzak alana paterninin karşılaştırması	57
Şekil 7.5	Minkowski yamalar ile oluşturulmuş 30 cm uzunluğunda karesel yansıtıcı anten.....	58
Şekil 7.6	Minkowski yansıtıcı anten ve aynı boyutlardaki parabolik yansıtıcı antenin uzak alana paterninin karşılaştırması	58

Şekil 7.7	Minkowski yamalar ile oluşturulmuş 60 cm uzunluğunda karesel yansıtıcı anten.....	59
Şekil 7.8	Minkowski yansıtıcı anten ve aynı boyutlardaki parabolik yansıtıcı antenin uzak alan paterninin karşılaştırması.....	60
Şekil 7.9	11GHz de tasarlanan minkowski yansıtıcı 10.5 GHz ve 11.5 GHz rekanslarında performansının karşılaştırması	60
Şekil 7.10	11Ghz de tasarlanan minkowski yansıtıcı 10GHz ve 12GHz rekanslarında performansının karşılaştırması.....	61
Şekil 7.12	Maltacross yamalar ile oluşturulmuş 60 cm uzunluğunda karesel yansıtıcı anten.....	61
Şekil 7.13	11Ghz de tasarlanan maltacross yansıtıcı 10GHz ve 12GHz rekanslarında performansının karşılaştırması.....	62
Şekil 7.14	Maltacross yansıtıcı elemanın 10 GHz deki 3 boyutlu ışıma paterni	62
Şekil 7.15	Maltacross yansıtıcı elemanın 11 GHz deki 3 boyutlu ışıma paterni	63
Şekil 7.16	Maltacross yansıtıcı elemanın 12 GHz deki 3 boyutlu ışıma paterni	63
Şekil 7.17	11Ghz de tasarlanan minkowski ve maltacross yansıtıcı antenlerin 10GHz deki performans karşılaştırması	64
Şekil 7.18	11Ghz de tasarlanan minkowski ve maltacross yansıtıcı antenlerin 12GHz deki performans karşılaştırması	64

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 6. 1	Maltacross yamanın alfa'ya göre range ve eğim karşılaştırması	43
Çizelge 6. 2	Maltacross yamanın yüksekliğe göre range ve eğim karşılaştırması.....	44

MİKROŞERİT YANSITICI DİZİ ANTENLER

Gökhan KAYA

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof.Dr. Filiz GÜNEŞ

Baskılı devre teknolojisi ile bir dielektrik tabaka üzerinde oluşturulan yansıtıcı dizi (YD) antenleri, bir parabolik yansıtıcı ile bir düzlemsel faz dizi antenin üstünlüklerinin birleştirildiği özel anten yapılarıdır [1-6]. Bu tür antenler, parabolik yansıtıcılarda olduğu gibi, temel bir besleme ve yansıtma yüzeyi kullanırken; aynı zamanda faz dizileri gibi, bir düzlem üzerine yerleştirilmiş çok sayıda mikroşerit yama ya da açıklık yüzey elemanlarından oluşmaktadır. Her bir anten elemanı gelen dalgaya, reaktif bir yüzey gibi davranıp, uygun bir faz kaydırması ile tam yansıtarak, ışımının talep edilen bir (θ_0, ϕ_0) doğrultusunda maksimum olmasını sağlarlar. Bu şekilde faz dağılımı işleminin çok sayıda eleman ile gerçekleştirilmesi sonucu, YD anten huzme paterni şekillendirme ve tarama işlevlerinde geniş bir esnekliğe sahiptir. Bir diğer önemli husus da, parabolik yansıtıcı antenler eğri yüzeyleri nedeniyle özellikle milimetrik dalga frekanslarında “pürüzsüz” imal edilmeleri zor, hantal yapılardır. Ayrıca, geniş açıda huzme tarama yeteneğinden de yoksundurlar. Düzlemsel aktif faz dizilerinde ise, elektronik huzme tarama sistemleri çok sayıda kuvvetlendirici ve faz kaydırma modülü içermesi nedeniyle son derece karmaşıktır ve maliyeti de yüksektir. Oysa YD antenlerinde,

“huzme şekillendirme olanakları”, birim eleman geometrisi ve dizilimi optimizasyonu ile düşük bir maliyet ile elde edilebilir.

Bir YD tasarımında temel olarak iki ana problem vardır: Huzme şekillendirme ve band genişliği. Birbirine karşıt olabilen bu iki tasarım talebini karşılayabilmek için elimizdeki temel araç birim hücre tasarımıdır ve mikroşerit YD lerde birkaç serbestlik derecesine sahip karmaşık, modern yama konfigürasyonlarının kullanılmasına ihtiyaç vardır. Aynı zamanda birim hücre optimum parametreleri ve kalibrasyon karakteristiği tayini, “doğru” ve “hızlı” bir “Birim Hücre Modeli”nin oluşturulmasını gerektirir. Optimum faz karakteristiğinde amaçlanan, en az 360^0 lik değişim aralığı ve eleman geometrisi parametrelerine göre gradyanının küçük olmasıdır. Böylece anten yapısının üretim hatalarına göre duyarlılığı azaltılacak ve çalışma bandı genişletilecektir. Birim hücre optimum parametreleri ve kalibrasyon karakteristiği, eleman fazının rezonans frekansı civarında geometri ve dielektrik tabaka parametrelerinin fonksiyon yaklaşıklığını oluşturan yapay zeka modeli kullanılarak optimizasyon ile elde edilir ve daha sonra dizi tasarımında yapılır. Burada, model eğitim ve test verisi, kanonik bir yaklaşım olan, sonsuz adet özdeş elemandan oluşan periyodik “sonsuz dizi” yaklaşımı ile elde edilir [3-12]. Sonsuz dizi yaklaşımı yan duvarları mükemmel magnetik, tabanları mükemmel elektrik olan eşdeğer “Matematiksel dalga kılavuzu” simülörünü birim hücre ile sonlandırarak ve dikey polarize edilmiş TEM dalga düşürülmesi durumunda ticari HFSS veya CST paket programları ile analiz edilerek uygulanır ve bu TE ya da TM dalgaları için de 40^0 ye kadar iyi bir yaklaşıklık sayılabilir [6].

Bu tazin temel hedefi, anten teknolojisinde bir devrim sayılabilecek mikroşerit yama YD anteni ülkemizdeki anten mühendisliği dünyasına tanıtmak, tasarımı ve analizlerini modern bilgisayar modelleme ve optimizasyon teknikleri ile analiz etmektir. Sonuç olarak, tesbit edilen belli bir konfigürasyonun mikroşerit yama yansıtıcı dizisi için ön tasarım çalışmaları yapılacaktır. Daha sonra, tasarlanan dizi antenlerin “3-boyutlu Tam Dalga Elektromanyetik” simülörü ile benzetimi yapılarak ışıma paternleri hesaplanacak ve analiz edilecektir.

Anahtar Kelimeler: Elektromanyetik Dalga Saçılması, Yansıtıcı Dizi Tasarımı, Mikroşerit Yama Anten, Işıma Paterni Şekillendirme, Huzme Tarama, Optimizasyon, Yapay Sinir Ağları.

ABSTRACT

MICROSTRIP REFLECTARRAY ANTENNAS

Gökhan KAYA

Department of Electronics and Communications Engineering
M.Sc. Thesis

Advisor: Prof. Dr. Filiz GÜNEŞ

Printed board reflector antennas are the antennas which combine advantages of both the parabolic reflectors and the planar phased arrays [1- 6]. These antennas consist of the microstrip patch or aperture element antennas placed on a flat dielectric substrate and are illuminated by a feed antenna. These types of the antennas act as reactive surfaces, and reflect approximately all the electromagnetic waves with a proper phase shift incident upon their surfaces, thus the radiation is maximized in a required (θ_0, ϕ_0) direction. Since many elements are involved in the phasing process, the reflectarrays offer a lot of flexibilities in the pattern formation such as beam shaping, single/ multiple beam, beam scanning, reconfigurable beams. On the other hand, parabolic reflectors are difficult to manufacture due to their curved structure, at the same time the feed networks of the phased arrays are complicated and expensive because of the beam forming circuits and amplifier modules. In the microstrip reflectarrays, the beam shaping facilities are low cost, since in the microstrip reflectarrays using the printed dipoles or patches, phase shifting can be achieved by varying geometric dimensions of the elements on a proper dielectric substrate around their resonant dimensions. However the

advanced novel element configurations with several degrees of freedom are also needed to satisfy pattern shaping requirements and to enhance the frequency behaviour and bandwidth. Management of the different parameters and the need of satisfying requirements that could also be in opposite each other could however make the design of a reflectarray quite complex.

In design of a reflectarray, there are the two main problems: Pattern shaping and bandwidth. Fundamental tool to meet these requirements is a fast and accurate model of the unit cell. Particularly, microstrip reflectarrays employ patches with the novel and complicated geometries. Besides one must have an accurate phase versus element geometry calibration characteristic so that the element is able to provide the necessary phase shift to focus the main beam to a desired (θ_0, φ_0) direction. In order to obtain the calibration phase characteristic and the corresponding optimum parameters of the element, an optimization is performed using the artificial intelligence model of the element. Here the optimum element is meant to have the phase characteristic with at least the 360° phase range and a small gradient with respect to the geometry parameters. Thus sensitivity with respect to the fabrication errors will be minimized and bandwidth will be enhanced. Multilayer Perceptron Neural Network (MLPNN) will be employed in the artificial intelligence modeling of the unit cell [13]. The training and validation data for the element modelling is obtained using the “infinite array” approach that takes into account the mutual coupling effects and specular reflections from the ground plane itself. The infinite array approach assumes all the elements to be identical and it employs “the mathematical waveguide” simulator terminated by the unit cell consisting of a single element where the HFSS or CST commercial full-wave simulators are employed to obtain the reflection phase information of the element. Here the side and upper and lower walls of mathematical waveguide are the perfect magnetic and electric, respectively and EM analysis is done for the incidence TEM wave that can be considered as a good approximation for the TM and TE waves up to 40° tool [6]

As a brief summary, artificial intelligence such as MLPNN will be used for the design and analysis of the microstrip and waveguide reflectarrays, respectively, then furthermore the full wave electromagnetic simulations will be obtained using Computer Simulation Technology Microwave Studio (CST MWS).

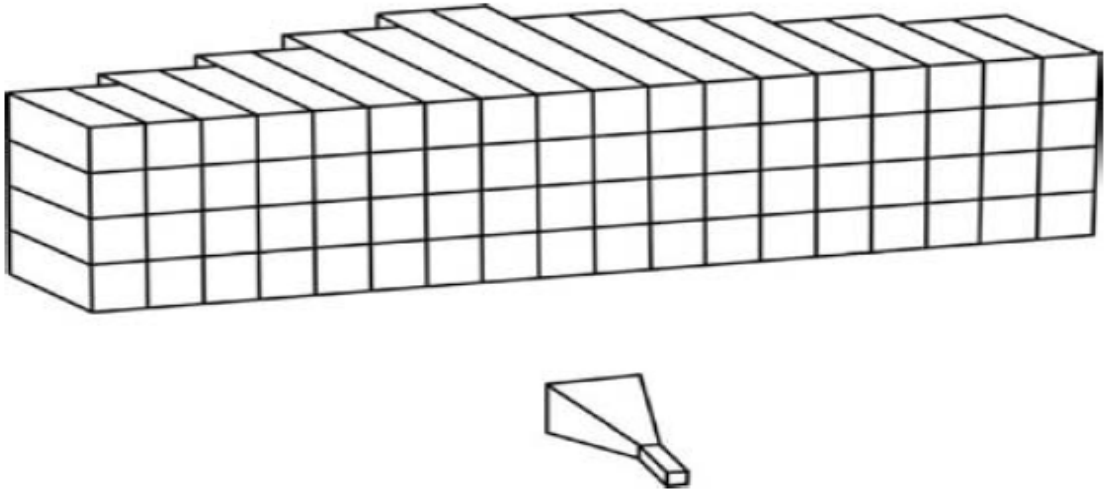
Keywords: Electromagnetic Wave Scattering, Reflectarray Design, Microstrip Patch Antenna, Waveguide Aperture Array, Radiation Pattern Shaping, Beam Scanning, Regression, Optimization, Neural Network

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

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



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

Bu dönemde telsiz haberleşmeye nispeten düşük mikrodalga frekanslarında yapıldığı için, büyük ve hantal yapıda YD antenler ortaya çıktı ve bu yapıların verimi ve optimizasyonu üzerinde 10 yıl kadar çalışılmadı.

1970 lerin ortalarında “Spirafaz” YD tasarımı yapıldı, bu tasarımda dairesel polarize edilmiş ve her birinde anahtarlama diyodları bulunan “Dörtkol spiral yada dipol”

elemanlarından bir YD oluşturuldu ve her bir elemanı uygun açı ile döndürülerek antenin geniş açılı elektronik tarama yeteneği deneysel olarak kanıtlandı [2].

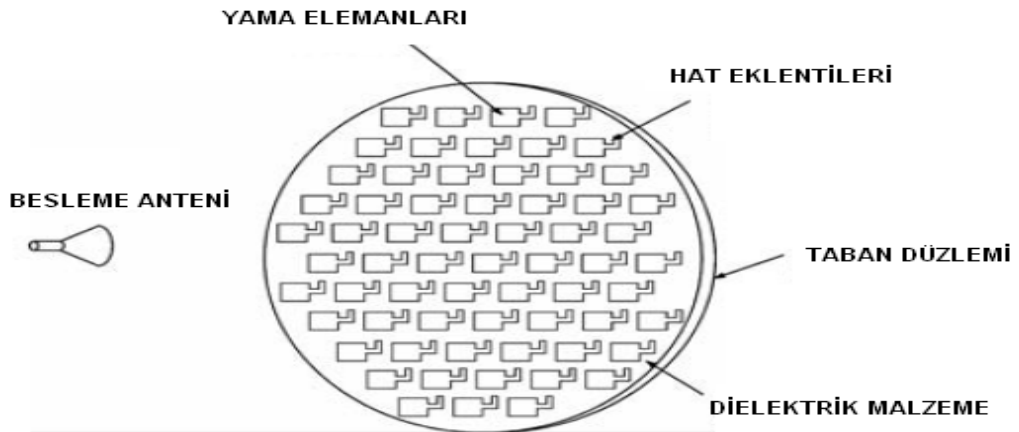


Şekil 1. 2 Yansıtıcı antenin dört kollu spiral modeli[2]

Işıma genişliği (beamwidht), elemanların birbiri arasındaki açıklıkları ve F (besleme anteninin uzaklığı)/ D (fiziksel anten açıklığı) iyi olarak tasarlanması gerekiyordu. Aksi durumlarda yüzey empedansı uyumsuzluğu nedeni ile geri yansımalar artmaktaydı.

1970 li yıllarda mikroşerit YD lerin geliştirilmeleri deneysel olarak sürdürüldü[3].

1980’li yıllardan sonra, baskı devre teknolojisinin gelişmesi ile yansıtıcı dizi elemanları olarak yama(patch) anten elemanları kullanılmaya başlanmıştır. Böylece anten boyutları ilk haline göre oldukça küçülmüştür.



Şekil 1. 3 Yansıtıcı antenin mikroşerit yamalar ile oluşturulmuş modeli[2]

1990 lardan itibaren Mikroşerit yansıtıcı dizi(MYD) analizi ve tasarımı teorik olarak da çalışıldı ve günümüzde geliştirilen modern yapay zekâ tekniklerinin MYD anten analiz ve tasarımına uygulanıp modern ve karmaşık tasarımların hızlı ve doğru yapılabilmesinin önü açıldı[4].

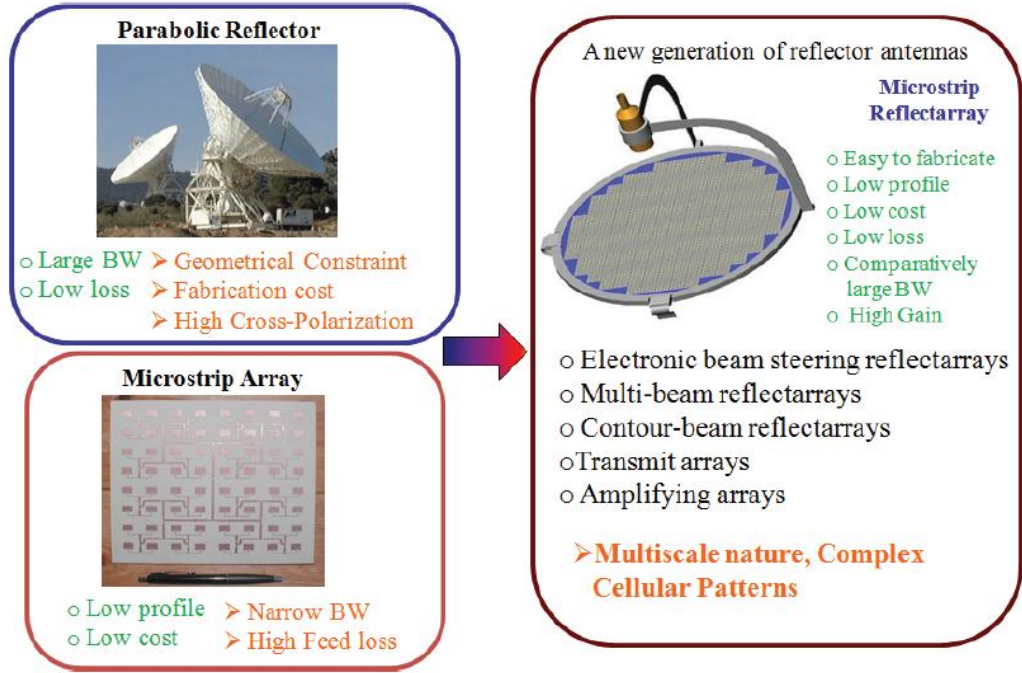
1.2 Tezin Amacı

Bu tezin amacı, anten dünyasında devrim kabul edilen mikroşerit ve dalga kılavuzu yansıtıcı dizi anten teknolojisini, Türk anten mühendisliğine tanıtmak ve bu konuda uluslararası düzeyde çalışmalar yapmaktır. Mikroşerit yansıtıcı dizi antenlerinde, ana ışımanın belirlenen doğrultuya yönlendirilebilmesi için, “faz dağılımı” işlemi güvenilir ve ekonomik bir şekilde eleman boyutlarını değiştirerek sağlanacaktır. Yüzlerce farklı boyuta sahip elemanlardan oluşturulan bir mikroşerit dizi tasarımını, “Yapay Zekâ” kullanılarak hızlı ve doğru bir şekilde anten tasarımı yapılacaktır. Literatürde günümüzde bu konuda bir boşluk vardır. Bu tasarımda, üretim hatalarına duyarlılık minimize ve çalışma bandı maksimize edilecektir. Son aşama, dizi tasarımı yapıp CST ile bilgisayar ortamında performans analizi yapmaktır. Daha sonra önceki birikimimiz ile anten tasarımlarına uygulayacak, çeşitli konfigürasyonlardan seçilen birim elemanların ve dizi antenlerin “3-boyutlu tam dalga elektromanyetik simulatörü” CST ile benzetimini yapacak, ışıma paternlerini karşılaştırmak suretiyle yöntemlerimizin hata payını hesaplayacak ve uygulamada kullanılabilirlik analizini gerçekleştireceğiz.

1.3 Hipotez

Mikroşerit yansıtıcı dizi antenler gelen dalgayı istenilen yöne yoğunlaştırmak ve yansıtmak amacı ile tasarlanır. Mikroşerit yansıtıcı dizi antenlerde, mikroşerit hatlar ile beslenen faz dizili antenlerin aksine dizinin yüzeyi kaynak anten ile aydınlatılır. Böylece mikroşerit besleme ağında oluşan kayıplar önlenmiş olur. Mikroşerit yansıtıcı dizi anteninin diğer bir avantajı geometrik olarak basit ve iki boyutlu bir yapıda olmasıdır. Bilindiği gibi odaklama işleminde kullanılan metal yansıtıcının küre şeklinde olması gerekir ve odaklama mesafesi kürenin merkezine göre sabittir. Mikroşerit yansıtıcı dizi anteni ise herhangi bir iki boyutlu yüzeye kolaylıkla uydurulabilir ve odaklama noktası yapılan tasarıma göre ayarlanabilir. Yansıtıcı dizi anteninde anten ana

huzmesinin yönü antenin geometrisinde yapılan değişiklik sonucunda değiştirilebilir. Eğer geometrisi değiştirilebilir bir yansıtıcı dizi anten yapılırsa, ana huzmenin yönü istenilen şekilde değiştirilebilir. Bu da birçok avantajı beraberinde getirir. Örneğin, odaklama amacı ile kullanılan bir Mikroşerit yansıtıcı dizi antende, birden fazla noktaya farklı zamanlarda odaklama yapılabilir[5],[6].



Şekil 1. 4 Parabolik yansıtıcı, dizi anten ve mikroşerit yansıtıcı anten karşılaştırması[7]

Yansıtıcı anten ve düzlemsel faz dizi anten birleşimi olan mikroşerit yansıtıcı dizi anten, bu iki antenin yararlarını birleştirir. Parabolik Yansıtıcı antende olduğu gibi kaynaktan yüzeye eş yollar sağlamadığı için bu dönüşümü sağlamak için uygun yol uzunluğunda bir düzeltme mekanizması kullanılır. Mikroşerit yansıtıcı dizi antende bu problemi ortadan kaldırmak için kullanılan yöntem faz kaydırma mekanizmalarıdır.

Bu kaydırma, mikroşerit yamalar kullanarak yapılmaktadır. Yamalar farklı geometrilerde ve farklı boyutlarda olabilmektedir. Bu yamaların özellikleri sayesinde yansıtıcı yüzeyin kaynağa farklı uzaklıklardaki noktalarının yansıma katsayısının fazı kaydırılabilmektedir. Mikroşerit yansıtıcı dizi antende faz hatalarını düzeltmek için kullanılan yama elemanı bir frekans için 360° faz kaydırma işlemini temin edebilecek şekilde seçilmesi tercih edilir. Mikroşerit yansıtıcı dizi antende seçilen elamanın dar

bantlı olması ve hesaplanan faz ihtiyacının frekansa göre değişkenlik göstermesi Mikroşerit yansıtıcı dizi antenlerin dar bantlı olarak tasarlanmasına sebep olmaktadır.

Bu tez çalışmasında öncelikle düzlemsel bir yüzeye gelen küresel dalganın düzlemsel dalgaya dönüştürülmesi için gerekli faz kaydırma ihtiyacı istenen bütün koordinat için tespit edilecektir. Sonrasında ise 3 boyutlu benzetim programları kullanılarak, faz kaydırma elemanı olarak kullanılacak yama elemanının farklı boyutlarına karşılık düşen faz kaydırma özellikleri tespit edilip grafik olarak elde edilecektir. Bu birim elemanın faz kaydırma karakteristik grafiği kullanılarak belirlenen koordinatların matematiksel olarak hesaplanmış olan faz ihtiyacına karşılık düşen yama boyutları tesbit edilecek ve mikroşerit yansıtıcı dizi antende o koordinatlara yerleştirilecektir. Bu sayede farklı noktalara yerleştirilen farklı yamalar sayesinde anten üzerinde bir eş faz yüzeyi oluşturulmak istenmektedir.

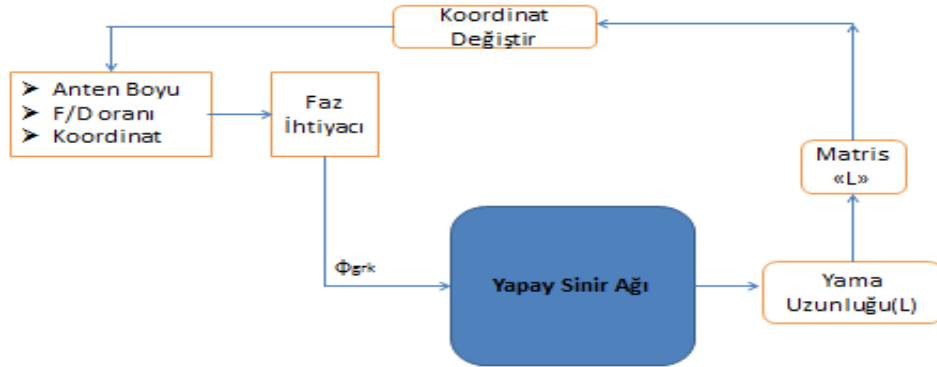
Bu tezde antenin birim elemanının parametrelerinin faz geciktirme karakteristiği yapay sinir ağları kullanarak modellenecektir. Bu modelleme iki önemli amacı vardır. Birincisi uzun elektromanyetik benzetimlerin yerine daha hızlı tasarım yapılmasına imkân sağlanacaktır; Belirli uzunluk birimleri için benzetim yapıp diğer farklı uzunluklar için ise interpolasyon yapılarak ve bu sayede farklı uzunluklar için tekrar tekrar benzetim yapmadan istenen faz kaydırma ihtiyacına karşılık düşen eleman özellikleri tespit edilecektir. İkincisi ise bu modelleme anten hızlı ve kolay tasarlanmasının önündeki önemli bir engeli çözmektedir. Bu engel aşılması gereken önemli bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır; Anten tasarımının ilk aşamasında matematiksel yaklaşımlar yapılarak belirlenen koordinatın antenin merkezine göre olması gereken faz gecikme ihtiyacı belirlenir. İkinci aşama olarak benzetim programı aracılığı ile de kullanılacak yama elemanının değişen parametresine (uzunluk, açı, vb) karşılık düşen faz kaydırma karakteristiği çıkartılır görüldüğü gibi bu iki işlemde de sistemlerin çıkışı fazdır. Seri ve hızlı bir tasarım yapılabilmesi için bu iki işlemin biri diğerinin giriş değerini oluşturacak şekilde tersten işletecek bir mekanizmaya ihtiyaç vardır. Biz bu tezde bu modellemeyi aşağıdaki gibi yapmayı planlamaktayız.



Şekil 1. 5 Tasarlanacak yapay sinir ağının modeli

Bu modelleme sayesinde ilk aşamada hesaplanan faz ihtiyacına karşılık düşen eleman parametresi, girişinin faz, çıkışının eleman karakteristiği olduğu yapay sinir ağı modeli sayesinde hızlı bir şekilde tespit edilecektir.

Yapay sinir ağının oluşturulabilmesi için birim elemanın yama parametresine bağlı faz karakteristiğinin çıkartılması gerekmektedir. Çıkarılan bu karakteristik yapay sinir ağında seçilen fonksiyonların eğitimi için kullanılacaktır.



Şekil 1. 6 Tasarımda kullanılacak algoritma

Yapay sinir ağıının modellenmesi ile beraber tasarım yukarıdaki algoritma aracılığıyla bilgisayar kodu yazılacaktır.

Algoritmaya bakıldığında öncelikle faz ihtiyacı hesaplanmaktadır. Hesaplanan değer oluşturulan yapay sinir ağına giriş olarak verilip çıkışından da yamanın gerekli faz ihtiyacını sağlayacak parametresi elde edilecektir. Bu sayede tasarlanan antenin boyu(D) ve besleme anteninin yansıtıcı yüzeye uzaklığı (F) ne olursa olsun istenen koordinatlar için gerekli faz ihtiyaç matrisi ve bunun karşılığındaki uygun parametre matrisi saniyeler içerisinde oluşturulmuş olacaktır. Bu çalışmamızda MY antenin koordinatına bağlı yama parametresinin- biz bu çalışmada yama parametresini birim yamanın uzunluğu (L) olarak seçtik- $m \times n$ 'lik matrisi de 3 boyutlu CST benzetim programında tasarlanarak sonuçlar alınacaktır. Bu sayede farklı yama şekilleri ile tasarımlar çok kolaylaşacak ve antenin bant genişliği sorununun çözülmesi için farklı yaklaşımlar yapılabilecektir.

Bu aşamada anlatılan konular ileriki bölümlerde detaylandırılarak anlatılacaktır. Tezin ileriki bölümlerinde öncelikle çalışmanın kapsamı içerisinde yer alan konular (Mikroşerit Yansıtıcı Anten, Yapay Sinir Ağları, Parabolik Yansıtıcı Anten, Dizi Anten) anlatılacaktır. Daha sonra MYD antenin tasarım aşamaları anlatılacak ve son olarak sonuçlar kısmında konunun analizi yapılacaktır.

MİKROŞERİT YANSITICI DİZİ ANTENLER

Düz ya da kıvrımlı bir yansıma yüzeyine yerleştirilmiş, üzerlerine düşen küresel elektromagnetik (EM) dalgaları, istenen belli bir doğrultuda düzlemsel eş faz yüzeyi oluşturacak biçimde, uygun faz gecikmesi vererek yansıtan elemanlardan oluşan yapılara yansıtıcı dizi (YD) anten denilmektedir.

2.1 Yansıtıcı Dizi Antenlere Giriş

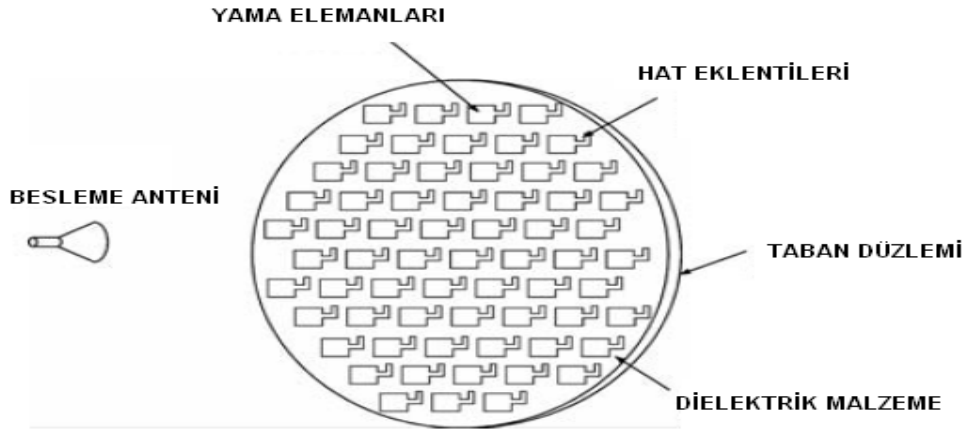
Bir yansıtıcı anten temel olarak, elektromanyetik (EM) enerjiyi yayan bir besleme birimi ve bu enerjiyi daha büyük bir açıklığa taşıyan bir veya birkaç yansıtıcı yüzeyden oluşur.

Yansıtıcı antenler; düşük maliyet ve yüksek kazançlarından dolayı mikrodalga haberleşmede ve radar sistemlerinde oldukça yaygın kullanım alanına sahiptir. Bu nedenle bu tip antenler gittikçe önem kazanmış, tasarım ve analiz yöntemleri üzerine birçok çalışma yapılmıştır.

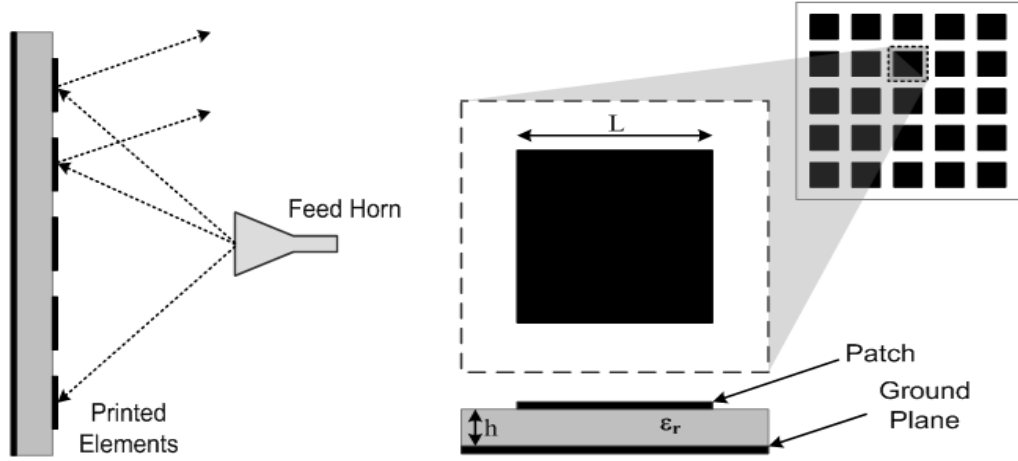
Bir yansıtıcının eksenine paralel gelen ışın demetlerinin yansıtıcının odak noktasında toplandığı 19. yy'da gökbilimciler ve fizikçiler tarafından biliniyordu. Bu ise, geniş bir bölgedeki enerjinin yansıtıcı bir sistemle istenilen noktaya toplanabilmesi veya bir noktadaki kaynaktan geniş bir bölgeye paralel ışın demetlerinin gönderilebilmesi anlamına geliyordu. Bu ilke, EM dalgalara ilk kez 1888'de Heinrich Rudolf Hertz tarafından uygulanmıştır. Literatüre geçen ilk büyük açıklıklı parabolik yansıtıcı, 1939'da Grote Reber tarafından yapılmıştır.

Mikroşerit yansıtıcı dizi antenlerden bahsedecek olursak; yansıtıcı dizi anten 1963 yılında dalga kılavuzu elemanlarının kullanılması ile ortaya çıkmış bir kavramdır.

Gerçek ilgi 1980'lerin sonlarında düşük profil basılı antenlerin gelişimiyle olmuştur. Günümüzde yeni bir anten tipi olarak karşımıza çıkmaktadırlar. Mikroşerit yansıtıcı dizi anten, yansıtıcı ışıma elemanlarının dizisinden oluşur. Mikroşerit yansıtıcı anten dizilerinde, parabolik yansıtıcı antenler ve faz dizi antenlerinin belirli avantajlarını birleştirilmiştir. Bu yansıtıcı diziler baskı devre teknolojisi kullanılarak düzlemsel bir levha (substrate) üzerinde imal edilmektedirler. Faz dizisi antenlerde olduğu gibi hüzmeye yönlendirilme imkânı sağlarlar. Son zamanlarda yansıtıcı dizi antenlerin bazı uygulamaları doğrudan uydu yayıncılığı ve radar sistemleridir. Son yıllarda bu antenlerin temel bir eksikliği olan dar bandının genişletilmesi üzerine araştırmalar ciddi derecede yoğunlaşmıştır.



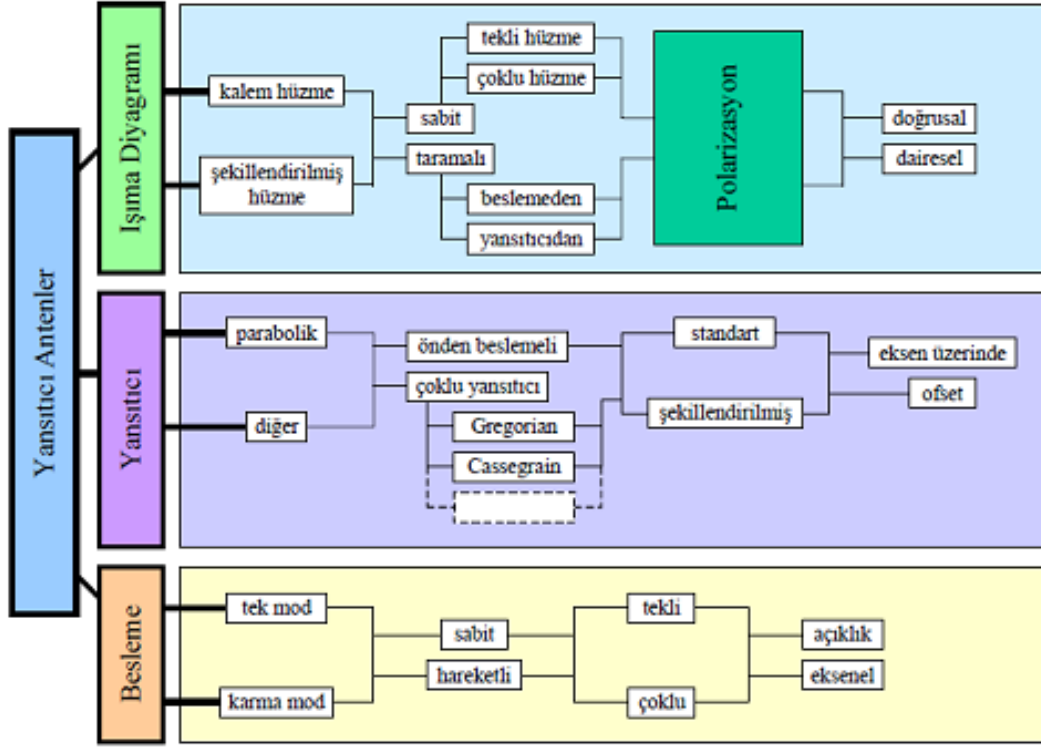
Şekil 2. 1 Yansıtıcı dizi anten genel görünümü



Şekil 2. 2 Yansıtıcı dizi anten kesit görünümü[7]

2.1.1 Yansıtıcı Dizi Antenlerin Uygulama Alanları ve Sınıflandırılması

1990'lı yıllar Mikroşerit yansıtıcı antenler için altın çağ olmuştur. Bu dönemde karmaşık yapıları olan büyük yansıtıcı antenlerin analizine büyük ilgi gösterilmiştir. Birçok yeni yansıtıcı anten tipi tasarlanmış ve mevcut yansıtıcı anten tipleri de gelişen bilgisayar teknolojisine bağlı olarak istenilen ölçütlere en uygun hale getirilmiştir. 1990'lardan sonra yansıtıcı antenlerin gelişimi, TV yayını ve uydu servisleri için şekillendirilmiş hüzmeli uydu antenleri ve radar antenleri ile devam etmiştir. Bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler ve malzeme biliminde uygulamaya yönelik ciddi ilerlemeler (örneğin, polarizasyona ve frekansa duyarlı, frekans seçici yüzeyler), yeni tip yansıtıcı antenlerin tasarım ve üretilmesini sağlamıştır. Bu tür antenler arasında en göze çarpan örnekler NASA'nın, *CRAF (Comet Rendezvous & Astreoid Flyby)* görevinde, Kopff kuyruklu yıldızına göndermeyi planladığı ve ESA/NASA'nın, Cassini görevinde Satürn'ün uydularından birine gönderdiği uzay araçlarında kullanılan dört frekanslı yansıtıcı anten sistemleridir[8]. Yansıtıcı antenin basit ya da ofset (ekseninden kayık beslenen) parabolik, Cassegrain, Gregorian ve çoklu yansıtıcılar gibi birçok çeşidi vardır. Genel olarak ışıma diyagramı, yansıtıcı ve besleme tipine göre üç gruba ayrılır:



Şekil 2. 3 Yansıtıcı antenlerin sınıflandırılması[8]

Işıma diyagramına göre yansıtıcı antenler; kalem hüzme, çoklu kalem hüzme, şekillendirilmiş hüzme, polarizasyona duyarlı hüzme olmak üzere sınıflandırılabilir. Kalem hüzme yansıtıcılar, radar uygulamalarında ve noktadan noktaya mikrodalga haberleşmesinde geniş bir biçimde kullanılır. Radar, uzay araçları ve uydu yayınlarında kullanılan yansıtıcıların şekillendirilmiş hüzmelere sahip olması istenir. Gökbilimciler, EM dalgalara ait kaynakların polarizasyon karakteristikleri ile ilgilendiklerinden polarizasyon ayırt edici antenlere ihtiyaç duyarlar[8].

2.1.1.1 Yansıtıcı Şekline Göre Yansıtıcı Antenler

Yansıtıcı antenler, yansıtıcı yüzeyin şekline ve yansıtıcı yüzey sayısına göre çeşitli sınıflara ayrılır. Yansıtıcı yüzey bir parabolün kesitinden oluşuyorsa parabolik yansıtıcı, birden fazla yansıtıcı yüzey kullanılıyorsa (ana ve yardımcı olmak üzere) çoklu yansıtıcı diye adlandırılır. Çiftli yansıtıcılarda yardımcı yansıtıcı bir hiperbolden kesilerek oluşturulmuş ise Cassegrain, elipsten oluşturulmuş ise Gregorian yansıtıcı adını alır. Üç yansıtıcılı sistemlere ise Nasmyth sistemleri adı verilir. Her bir yansıtıcı yüzey kullanım alanına göre dairese, silindirik veya başka uygun bir izdüşüm şekline sahip olabilir. Bunlara ek olarak yansıtıcı yüzey, özel amaçlı sistemler için birkaç şeklin

birleşmesinden oluşabildiği gibi, yüzey, hareketli veya sabit, değişik elemanlardan da oluşturulabilir. Odak noktasından verimli bir biçimde beslendiğinde oldukça düşük yan kulakçıklı, yüksek kazançlı kalem hüzme üretmesinden dolayı parabolik anten en çok kullanılan tiptir. Diğer yansıtıcı yüzeyler çok özel amaçlara yönelik şekillendirilmiş hüzmeler üretmek için kullanılır. Örneğin küresel yansıtıcı anten, radyoastronomide ve küçük yer istasyonu uygulamalarında kullanılır. Çünkü bu tip yansıtıcının hüzmeleri besleme sisteminin hareket ettirilmesi ile verimli bir biçimde taranabilir. Hüzme taramada ve çoklu hüzme sistemlerinde antenin açıklığı besleme sistemi tarafından aşırı derecede perdelenebilir. Kazançtaki düşmenin yanı sıra yan kulakçık düzeyleri de kabul edilemez derecede yüksek değerlere çıkabilir. Bunu önlemek amacıyla ofset besleme yöntemi geliştirilmiştir.

2.1.1.2 Besleme Tipine Göre Yansıtıcı Antenler

Yansıtıcı anten beslemesi olarak, genellikle dalga kılavuzu ve huni (dikdörtgen, dairesel, tırtıklı, konik vb.) tercih edilmekle birlikte, EM dalgaları yansıtıcı yüzeye yönlendirebilecek herhangi bir anten de kullanılabilir. Burada dikkat edilmesi gereken önemli noktalar şu şekilde sıralanabilir:

- Yansıtıcı yüzeyin tamamının beslemeden çıkan dalgalarla aydınlatılması
- Yansıtıcı kenarlardan en az taşma (spillover) olacak biçimde (-10 dB kenar aydınlatması) besleme yeri ve şeklinin belirlenmesi
- Düşük çapraz polarizasyonun sağlanması
- Düşük yan kulakçık düzeylerinin sağlanması
- Beslemenin en az perdeleme yapacak biçimde konumlandırılması

1960'tan beri huni veya dalga kılavuzları tek modda çalışan beslemeler olarak yansıtıcıların aydınlatılmasında kullanılmıştır. Ancak, daha sonraki yıllarda ortaya çıkan radar, radyoastronomi ve uydu-yer istasyonu antenlerindeki gereklilikler, ana yansıtıcı ya da yardımcı yansıtıcının verimli bir biçimde aydınlatılmasını zorunlu kılmış ve farklı besleme türlerinin geliştirilmesi zorunluluğu doğmuştur[8].

2.1.2 Yansıtıcı Dizi Antenin Özellikleri

- Mikroşerit yansıtıcı anten, aşağı yukarı, geleneksel parabolik yansıtıcı özellikleriyle aynı özellikleri taşır. Parabolik yansıtıcıya göre gerçekleştirilmesi kolaydır. Fakat band genişliği olarak daha dar bir banda sahiptir.
- Uzaktaki bir nesneyi tarayacağımız için yönlendiriciliğinin yüksek olması beklenir.
- Elemanların fazları değiştirilerek, hüzme taraması elde edilebilir.
- Teorik olarak, mm dalga boyutlarında olmak üzere(açıklık anten), besleme anteni çok çeşitli özellikte seçilebilir. Pratik uygulamalarda yüksek kazançlı horn anten kullanılması yaygındır.
- Yama elemanları üzerine yapılan besleme yansıtma yoluyla yapıldığı için besleme kayıpları azdır. Milimetrik dalga boylarında, mikroşerit anten elemanlı dizi antenlerinin kayıpları çok artmakta ve kazançları düşmektedir. Buna karşılık, yansımali yama elemanlarıyla oluşturulan yansıtıcı sistemlerde, anten dizisinin beslenmesi direkt olarak değil de yansıtma yoluyla yapıldığı için anten kayıpları azalmakta ve anten kazancı artmaktadır.
- Besleme açısı merkezi, yanal, dolaylı yoldan(“Casagrain”) yapılabilir.
- Polarizasyon seçimi yama elemanlarının şekline bağlı olarak doğrusal (dikdörtgen yama) veya dairesel(daire yama) olabilir.

2.1.3 Yansıtıcı Dizi Antenlerin Avantajları ve Dezavantajları

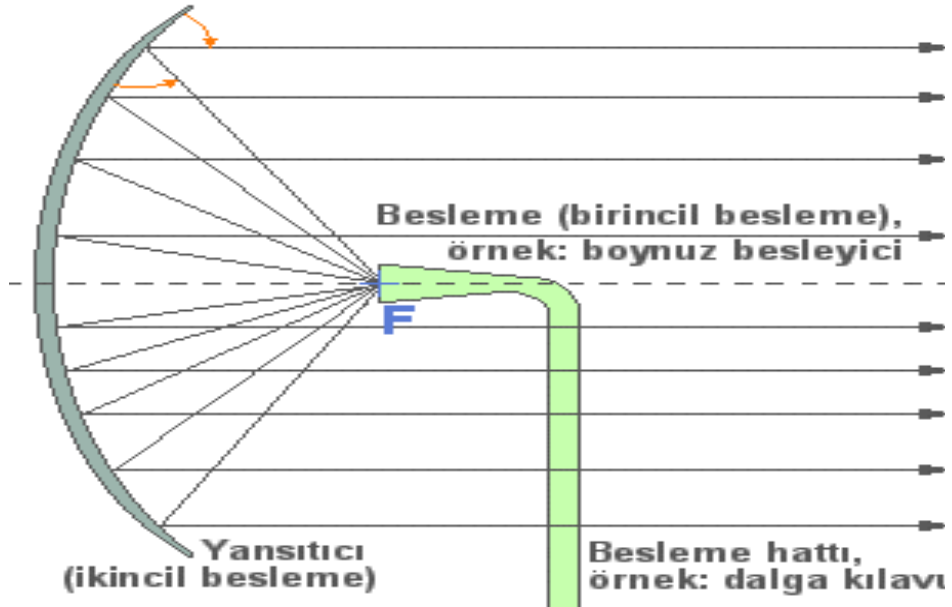
- Parabolik yansıtıcılarda olduğu gibi çok geniş anten açıklığı için güç bölücüye ihtiyaç duyulmadan yüksek verim sağlayabilmektedirler.
- Dizi antenlerde olduğu gibi, bir yansıtıcı dizi anten de ana hüzme doğrultusuna, düzlem normalinden geniş bir açıda ($>50^\circ$) eğim verebilmektedir.
- Yansıtıcı dizi antenler basılmış mikroşerit elemanlar ile tasarlandığında düşük yüzey yansıma profili, daha küçük anten boyutu ve düşük maliyet imkanları sağlarlar.
- Geniş anten açıklığı gerektiğinde düz yapısı nedeniyle kıvrımlı parabolik yansıtıcılara göre daha kolay imal edilmekte ve daha güvenilir bir mekanizma oluşturulabilmektedir.

- Elektronik faz kaydırıcılar ile faz ayarlaması yapılarak geniş açılı hüzme taraması yapma imkanı sağlarlar.
- Aynı zamanda tek darbe patern elde etme ve faz sentezli patern şekillendirme yeteneğine de sahiptirler. Bir Mikroşerit yansıtıcı dizi yüzlerce ya da binlerce basılı mikroşerit yama elemanlar kullanılarak düşük maliyetli kimyasal oymabaskı yöntemiyle kolaylıkla üretilebilmektedir.
- Faz sentez tekniği kullanılarak çok kesin kontur hüzme şekli elde edilebilmektedir.
- Elemanların fazları, faz kaydırıcılar ile elektronik olarak kontrol edilebilmektedir.
- Hüzme tarama yeteneği sayesinde, yüksek kayıplı hüzme oluşturma sistemlerine ve yüksek maliyetli alıcı-verici kuvvetlendirici modüllerine ihtiyaç duyulmamaktadır
- Belirgin tek dezavantajı dar bant genişliğine sahip olmasıdır
- Band genişliği yansıtıcı eleman tasarımına, beslemenin odak uzaklığına ve antenin açıklık boyutlarına bağlı olarak değişmektedir.

PARABOLİK YANSITICI ANTENLER

3.1 Parabolik Yansıtıcı Anten ve Tasarım Formülleri

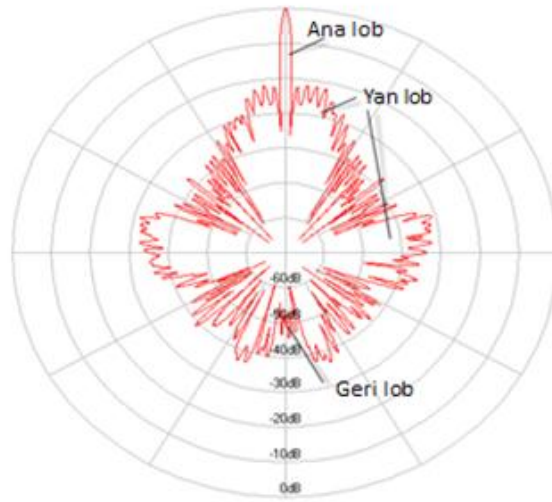
Parabolik antenler radar tekniğinde kullanılan anten tipleri arasında en sık karşılaşılan anten biçimidir. Aynı zamanda özel amaçlar için daha yüksek seviyede güç elde etmek için parabolik antenler kullanılır. Şekil 3.1’de simetrik bir parabol anten ana hatlarıyla gösterilmiştir. Odak noktasında bulunan bir kaynaktan parabolik antene ışınlar gönderilir. Bu kaynağa “Birincil Besleme” ya da sadece “Besleme” denir.



Şekil 3. 1 Parabolik yansıtıcı anten[9]

Bir parabolidin kesiti olan, genellikle bir metal yapı, ya da çoğu kez kafes ağla kaplı bir metal çerçeve şeklinde olan bu parçaya yansıtıcı (Yansıtıcı) denilir. Metal kafesteki elek boyutu $\lambda / 10$ dan küçük olmalıdır. Bu yansıtıcı, elektromanyetik dalgalar için bir ayna gibi çalışır.

Bir parabolik anten, yüksek kazançlı, ileri - geri oranı büyük, geniş ölçüde döneel simetrisi bulunan ve nispeten küçük yan demetleri bulunan Şekil 3.2'deki gibi bir anten diyagramına sahiptir.



Şekil 3. 2 Parabolik Yansıtıcı antenin polar ışıma diyagramı[9]

Parabol denkleminde F odak uzaklığının bir ifadesi olan a katsayısı ($a = 1/4F$) kullanılarak genel parabol denklemi şu şekilde yazılır;

$$y=ax^2 \quad (3.1)$$

Parabolik yansıtıcı derinliğini veren (3.2) numaralı denklemde D çapı göstermektedir.

$$d = \frac{D^2}{16f} \quad (3.2)$$

Anten beslemesinin hüzme genişliğini veren (3.3) denkleminde θ hüzme genişliğidir.

$$\frac{f}{D} = \frac{1}{4 \tan(\theta/4)} \quad (3.3)$$

Antenin hüzme genişliğini (HG) veren (3.4) denkleminde ise λ Dalga boyu, D anten çapıdır.

$$HG = \theta = \frac{70\lambda}{d} \quad (3.4)$$

Parabolik yansıtıcının kazancı denkleminde η verimlilik, λ Dalga boyu, D çaptır.

$$G = 10 \log_{10} \left(\eta \frac{4\pi A}{\lambda^2} \right) \quad (3.5)$$

Burada;

$$A = \frac{\lambda D^2}{4} \quad (3.6)$$

Şeklinde verilmektedir.

BÖLÜM 4

DİZİ ANTENLER

Dizi antenler, yayılan gücü istenen bir açısal bölgeye yönlendirmek için kullanılırlar. Dizinin elemanlarının sayısı, geometrik konumları, genlikleri ve fazları elde edilmek istenen açısal paterne göre farklılık gösterir. Dizi herhangi bir yöne ışıma yapacak şekilde dizayn edildikten sonra, dizi elemanlarının fazları değiştirilerek başka yönleri taraması sağlanır.

Dizi antenler herhangi bir mekanik hareket olmaksızın, herhangi bir yönden gelen elektromagnetik dalgayı alabilir ya da istenen herhangi bir yöne ışıma yapabilir. Yüksek bant genişliğine sahip olduklarından, daha fazla bilgi taşıma avantajları vardır. Hareketli parçalarının olmaması, düşük görünürlük özelliği sağlar ve bu da askeri alanda önemli bir avantajdır. Çok kısa sürede tarama yapma özelliğine sahiptirler. Bunun yanında çok modlu olarak çalışabilme özelliği ve bunun gibi birçok avantajı ile televizyon ve radyo yayıncılığı, hava trafiği ve akıllı anten uygulamalarıyla birlikte özellikle askeri alanda, deniz ve hava radarlarında, güdümlü füzelerde ve uydu haberleşmesinde aktif kullanıma sahiptirler

4.1 Anten Dizileri Kavramı

İki ya da daha fazla antenin istenen ışımayı yapabilmesi için birlikte tasarlanıp bir sistem oluşturması ile anten dizileri oluşturulur. Bir anten dizi sistemi oluşturabilmek için elektriksel ve geometrik tasarım gerekir. Tek anten ile oluşturulan yapılarda demet genişliği büyük, yönlendiricilik ise düşüktür. Yönlendiriciliği arttırmak ve demet genişliğini daraltmak için anten dizileri iyi bir çözüm olmaktadır. Bir antenin tasarlanmasındaki en büyük etken istenilen ışıma diyagramına uygunluğudur. Antenin boyutları ile oynanarak istenilen ışıma düzenine ulaşılabilir. Maliyet ve boyut olarak

oluşturulan sisteme fazladan yük getireceğinden dolayı tek anten yerine birden çok antenden oluşturulan anten dizileri tercih edilir. Anten dizilerine ulaşan işaretin genlik ve faz değerleri değiştirilerek istenilen bölgeye ışıma yapmak ve ışımayı sönmölemek mümkündür. Anten dizileri gerekliliğe göre tasarlanabilmektedir. Birçok iletişim sistemi yönlendiriciliği fazla antenleri tercih etmektedir, sistemin istediğı bölge için ışıma artırılıp diğör bölgelerde sönmöleme yapılabilir[9].

Aynı elemanlarla oluşturulan anten dizilerinin ışıma diyagramlarını kontrol etmek için beş adet madde sıralanabilir.

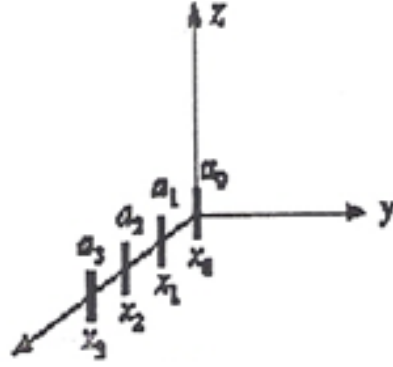
- Dizinin geometrik düzeni (Lineer, Dairesel vb.)
- Elemanlar arası boşluklar
- Her elemanın genlik değörleri
- Her elemanın faz değörleri
- Her elemanın ışıma diyagramı

Yukarıda sıralanan beş adet maddede belirtilen özellikler değıştirilerek elde edilmek istenen ışıma diyagramına ulaşılabilir[9].

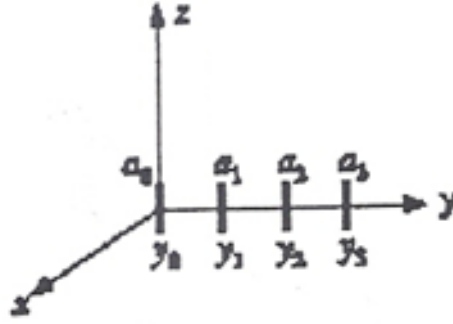
4.2 Doğrusal Anten Dizileri

Doğrusal anten dizileri, doğrusal bir hat üzerine yerleştirilmiş antenlerden oluşan dizilerdir. En yaygın olarak kullanılanı, dizi elemanlarının düzgün aralıklarla ve doğrusal olarak dizildiğı düzgün doğrusal anten dizisidir. Bunun yanında dizi elemanları uygulamanın özelliğine göre çeşitli aralıklarla yerleştirilerek ışıma paterninin çeşitli açılarda ortam şartlarına göre tepki vermesi sağlanabilir[9].

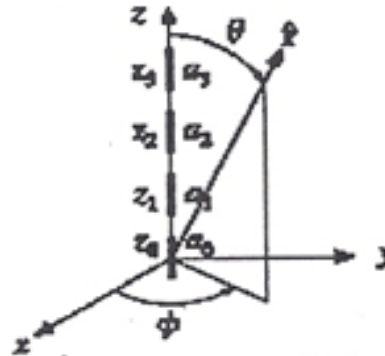
Doğrusal anten dizilerinin avantajı basit yerleşimleridir. Dezavantajı ise yapılacak taramanın yalnızca bir düzlemde olabilmesidir.



Şekil 4. 1 x-ekseni boyunca doğrusal anten dizisi



Şekil 4. 2 y-ekseni boyunca doğrusal anten dizisi

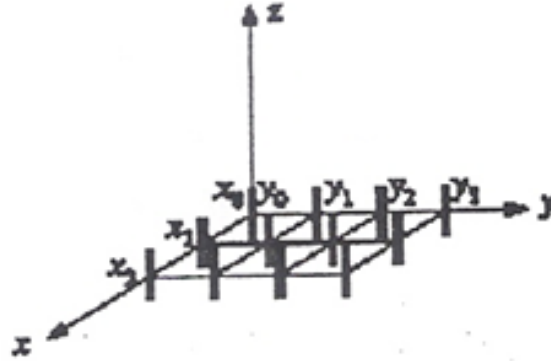


Şekil 4. 3 z-ekseni boyunca doğrusal anten dizisi

4.3 Düzlemsel Anten Dizileri

Düzlemsel anten dizileri, antenlerin iki boyutlu düzlem üzerine yerleştirilmesiyle oluşan dizilerdir. Düzlemsel anten dizilerinin, doğrusal anten dizilerine göre avantajı ışıma paterninin küresel koordinat sisteminde iki boyutu temsil eden θ ve ϕ açısal eksenleri ile tanımlanabilmesidir. Doğrusal dizilerde ışıma paterni sadece dizi eksenin bulunduğu düzlemde tek boyutta taranabilirken, düzlemsel dizilerde iki boyut birden taranabilmektedir. Ancak anten sayısının artışı işlemsel yoğunluğu arttırmakta ve zaman kaybına neden olabilmektedir. Bu yüzden doğrusal dizilere eklenecek bir kaç anten ile dikeyde tarama yapılmaya çalışılmaktadır.

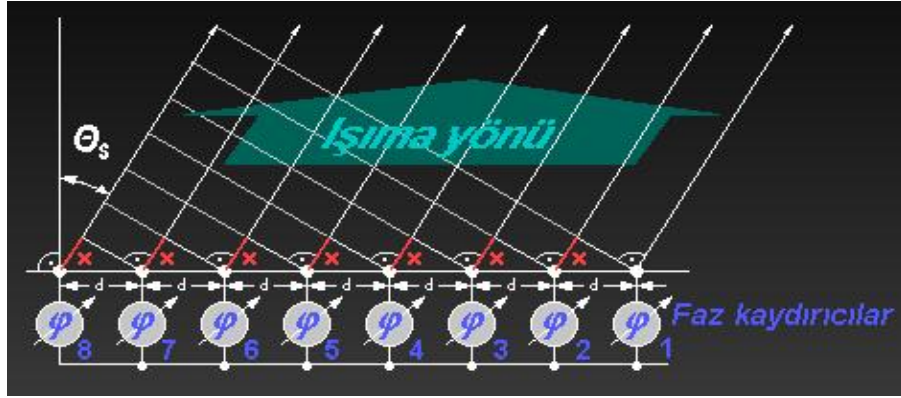
Düzlemsel anten dizilerinin avantajı iki düzlemde tarama yapılabilmesine olanak sağlamasıdır. Dezavantajı ise karışık düzenleme ve faz açısı ile kumandası için çok sayıda faz-kaydırıcı devre ihtiyacına gereksinim duymasıdır.



Şekil 4. 4 xy-düzlemi boyunca doğrusal anten dizisi

4.4 Dizi Antenlerin Faz Kayması

Şekil 4. 5 'de elemanlar arasında ve bir elemana gelen veya giden yayın hattı arasında bir üçgen meydana geldiğini görüyoruz.



Şekil 4. 5 Faz kaymasının oluşması[9]

Bu üçgenin kısa kenarı (x), ardışık iki elemana gelen yayının kat ettiği mesafeler arasındaki farktır. Üçgenin hipotenüsü (d) iki ışıma elemanı arasındaki uzaklıktır ve üçgenin uzun kenarı da bir sonraki elemandan bir önceki elemana gelen yayın hattına çizilen dik bir yardımcı çizgidir. Buradan aşağıdaki denklemlere varmak mümkündür.

$$x = d \sin \theta_s \quad (4.1)$$

$$\frac{360^\circ}{\varphi} = \frac{\lambda}{x} \quad (4.2)$$

Bu iki denklemden yararlanıp ardışık iki eleman arasındaki faz açısı farkına aşağıdaki gibi ulaşabiliriz.

$$\varphi = \frac{360^\circ d \sin \theta_s}{\lambda} \Rightarrow d = \frac{\varphi \lambda}{360^\circ \sin \theta_s} \quad (4.3)$$

4.5 Dizi Antenlerin Avantajları ve Dezavantajları

Dizi antenlerin avantajları ve dezavantajlarını aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür:

Avantajları:

- Eşzamanlı kuvvetli bir yan topuz bastırma, düşük yan kulaklar ve daha yüksek bir anten kazancı
- Demet yönünü çok hızlı değiştirebilme (μ s mertebesinde) ve böylece bir başka hedefi yakalama imkânı
- Aynı anda birden fazla demet üreterek çok işlevli çalışma imkânı
- Çizge biçiminin çok hızlı şekillenmesi ve yeniden değiştirilebilmesi
- Rastgele gözetim ve izleme
- Hedefi aydınlatma süresini seçme olanağı
- Bir elemanın arızalanması durumunda sistemin çökmemesi

Dezavantajları:

- Yatayda ve düşeyde sınırlı tarama bölgesi
- Işıma çizgelerinin frekansa olan bağımlılığı
- Demetlerin saptırılması sırasında demetlerde oluşan şekil bozulması
- Karmaşık işlemci ve faz kaydırıcı devrelerin kullanılması
- Yüksek maliyetler

BÖLÜM 5

YAPAY SİNİR AĞLARI(YSA)

Donald Hebb (1949) bugünün sinir ağı teorisinin babası olarak bilinmektedir. Nörolog olan Hebb, beynin nasıl öğrendiği ile ilgili çalışmalar yapmıştır. Çalışmalarına beynin en temel birimi olan sinir hücresini ele alarak başlamıştır. İki sinir hücresinin birbirleriyle nasıl bir koralasyon sergilediklerini incelemiş ve sinir ağı teorisini bu temel üzerine oturtmuştur. Bu temel kuskusuz tek gerçek değildir. Çünkü beynin nasıl bir çalışma sergilediği su an dahi teoriler yardımıyla açıklanmaktadır. Ancak Hebb'in yardımıyla bu fikir ile yola çıkılmış ve günümüzdeki yüzlerce ayrı teoriyle geniş bir yelpazeye hitap eder hale gelmiştir. Su an gerçek yaşamda kullanılan ve basari oranı %99'lar ile ifade edilegelen bir sürü yapay sinir ağı modeli mevcuttur. Tüm geliştirilen modeller bilgisayar dünyasında “çözumsuz” veya “ karmaşık” olarak nitelendirilen problemlerin çözümünü hedeflemekte ve hatta bir kısmını başarıyla çözmektedir.

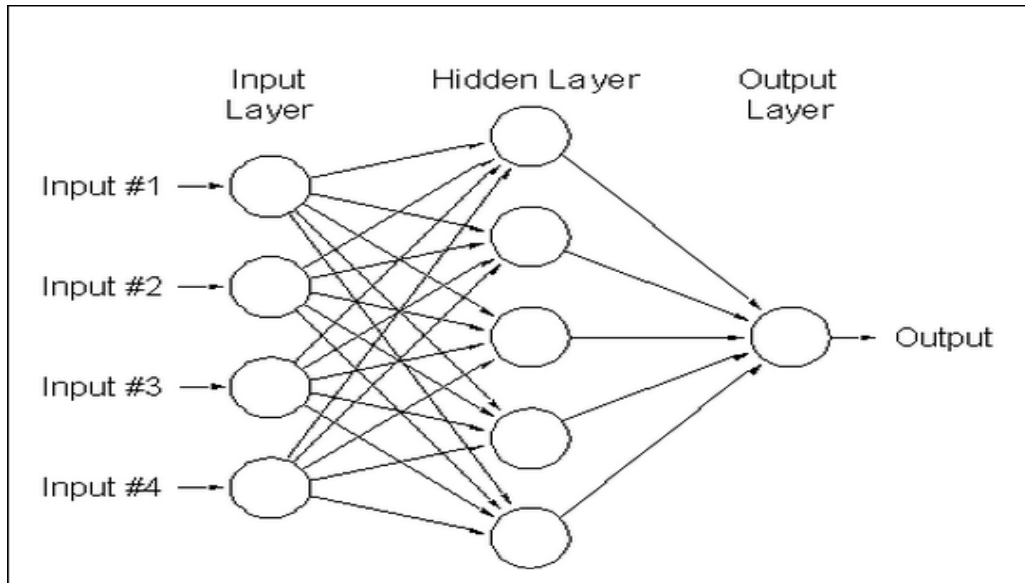
Yapay sinir ağları (YSA), insan beyninin çalışma şeklinde esinlenerek geliştirilmiş bir bilgi işlem teknolojisidir. En genel anlamda bir YSA insan beynindeki birçok nöronun (sinir hücresinin), ya da yapay olarak basit işlemcilerin birbirlerine değişik etki seviyeleri ile bağlanması sonucu oluşan karmaşık bir ağ sistemi olarak düşünülebilir. Bu ağlar öğrenme, hafızaya alma ve veriler arasındaki ilişkiyi ortaya çıkarma kapasitesine sahiptirler. Diğer bir ifadeyle, YSA'lar, normalde bir insanın düşünme ve gözlemlemeye yönelik doğal yeteneklerini gerektiren problemlere çözüm üretmektedir. Bu doğal yetenekler insanda ki yaşayarak veya deneyerek öğrenme yeteneğidir[10].

Yapay sinir ağları, olayların örneklerine bakmakta, onlardan ilgili olay hakkında genellemeler yapmakta, bilgiler toplamakta ve daha sonra hiç görmediği örnekler ile karşılaşınca öğrendiği bilgileri kullanarak o örnekler hakkında karar verebilmektedir. Yapay sinir ağları, insan beyninin özelliklerinden olan öğrenme yolu ile yeni bilgiler

türetilme, yeni bilgiler oluşturabilme ve keşfedebilme gibi yetenekleri herhangi bir yardım almadan otomatik olarak gerçekleştirmek amacı ile geliştirilen bilgisayar sistemleridir. Bu sayede hem yeni gelişmelere neden oldular hem de nasıl çalıştığı bilinmeyen insan beyni hakkında yapılan araştırmalara da önemli katkılar sağladılar.

5.1 Yapay Sinir Ağlarının Genel Özellikleri

Yapay sinir ağlarının temel işlevi bilgisayarın öğrenmesini sağlamaktır. Olaylar öğrenilerek benzer olaylar karşısında mantıklı kararlar verebilecek yeteneğe sahip olmaları amaçlanmaktadır. YSA'nın öğrenebilmesi için örneklerin belirlenmesi, bu örneklerin ağı gösterilerek istenen çıktılara göre ağı eğitilmesi gerekmektedir.



Şekil 5. 1 Dört giriş bir çıkışa sahip yapay sinir ağı modeli[10]

Ağın başarısı, seçilen örnekler ile doğru orantılıdır, ağı olay bütün yönleri ile gösterilemezse ağ yanlış çıktılar üretebilir. Daha önce görülmemiş örnekler hakkında bilgi üretebilirler. YSA'lar eğitimleri sırasında kendilerine verilen örneklerden genellemeler çıkarırlar ve bu genellemeler ile yeni örnekler hakkında bilgi üretebilirler.

5.2 Yapay Sinir Ağlarının Avantajları

Algılamaya yönelik olaylarda kullanılabilirler. YSA'ların en başarılı oldukları alanlar, algılamaya yönelik uygulama alanlarıdır. Bu alanlarda başarıları kanıtlanmıştır. Örüntü ilişkilendirme ve sınıflandırma yapabilirler. YSA'lar kendilerine örnekler halinde verilen örüntüleri kendisi veya diğerleri ile ilişkilendirebilir. Ayrıca kendisine verilen örneklerin kümelenmesi ile, bir sonraki verinin hangi kümeye dahil olacağının karar verilmesi konusunda kullanılabilirler.

Örüntü tamamlama yapabilirler. Ağa eksik bilgileri içeren örüntüler verildiğinde eksik bilgilerin tamamlanması konusunda başarılıdır. Kendi kendine öğrenebilme ve organize etme yetenekleri vardır. YSA'lar online olarak öğrenebilirler ve kendi kendilerini eğitebilirler.

Eksik bilgi ile çalışabilmektedirler. Geleneksel sistemlerin aksine YSA'lar eğitildikten sonra veriler eksik bilgi içerse dahi, çıktı üretebilirler. Bu durum bir performans kaybı yaratmaz, performans kaybı eksik bilginin önemine bağlıdır. Burada bilgilerin önem dereceleri eğitim sırasında öğrenilir.

Hata toleransına sahiptirler. YSA'ların eksik bilgilerle çalışabilmeleri ve bazı hücreleri bozulsa dahi çalışabilmeleri, onları hatalara karşı toleranslı yapar. Dereceli bozulma (Graceful degradation) gösterirler. Bir ağ, zaman içerisinde yavaş ve göreceli bir bozulmaya uğrar. Ağlar problemin ortaya çıktığı anda hemen bozulmazlar.

Dağıtık belleğe sahiptirler. YSA'larda bilgi ağa dağılmış bir şekilde tutulur. Hücrelerin bağlantı ve ağırlık dereceleri, ağırlık bilgisini gösterir. Bu nedenle tek bir bağlantının kendi başına anlamı yoktur[10].

5.3 Yapay Sinir Ağlarının Dezavantajları

YSA'ların, pek çok avantajın yanında bazı dezavantajları da vardır. Belli başlı dezavantajları;

Donanım bağımlıdır. YSA'ların en önemli sorunu donanım bağımlı olmalarıdır. YSA'ların en önemli özellikleri ve var oluş nedenlerinden birisi olan paralel işlem yapabilme yeteneği, paralel çalışan işlemciler ile performans gösterir.

Uygun ağ yapısının belirlenmesinde belli bir kural yoktur. YSA'larda probleme uygun ağ yapısının belirlenmesi için geliştirilmiş bir kural yoktur. Uygun ağ yapısı deneyim ve deneme yanılma yolu ile belirlenmektedir.

Ağın parametre değerlerinin belirlenmesinde belli bir kural yoktur. YSA'larda öğrenme katsayısı, hücre sayısı, katman sayısı gibi parametrelerin belirlenmesinde belirli bir kural yoktur. Bu değerlerin belirlenmesi için belirli bir standart olmamakla birlikte her problem için farklı bir yaklaşım söz konusu olabilmektedir.

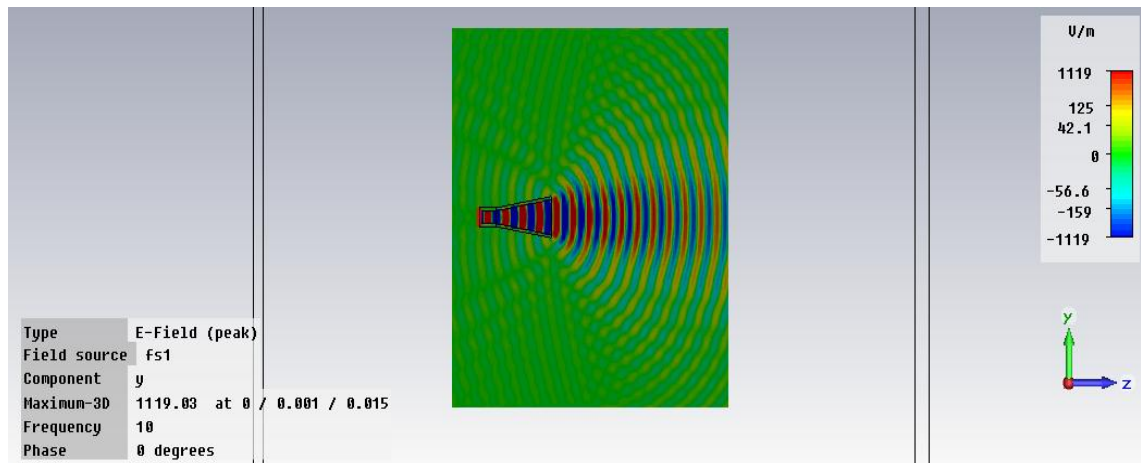
Öğrenilecek problemin ağa gösterimi önemli bir problemdir. YSA'lar nümerik bilgiler ile çalışabilmektedirler. Problemler YSA'lara tanıtılmadan önce nümerik değerlere çevrilmek zorundadırlar. Burada belirlenecek gösterim mekanizması ağın performansını doğrudan etkileyecektir. Bu da kullanıcının yeteneğine bağlıdır.

Ağın eğitiminin ne zaman bitirilmesi gerektiğine ilişkin belli bir yöntem yoktur. Ağın örnekler üzerindeki hatasının belirli bir değerin altına indirilmesi eğitimin tamamlandığı anlamına gelmektedir. Burada optimum neticeler veren bir mekanizma henüz yoktur ve YSA ile ilgili araştırmaların önemli bir kolunu oluşturmaktadır[10].

MİKROŞERİT YANSITICI DİZİ ANTENTASARIMI

6.1 Faz Gecikmesi Tespiti

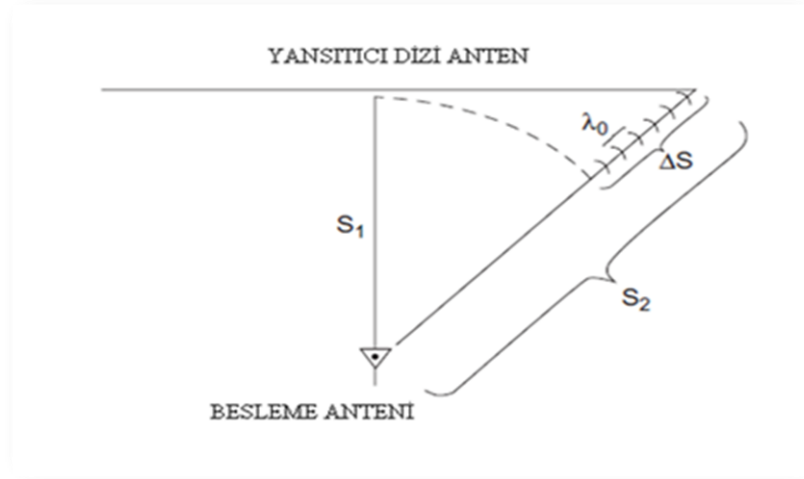
Mikroşerit Yansıtıcı Dizi(MYD) anten tasarımının kritik noktalarından bir tanesi YD üzerindeki koordinatlara dizilmek istenen faz elemanının parametrelerinin belirlenebilmesi için gerekli olan faz ihtiyacının tespit edilebilmesidir. Konuyu biraz daha açacak olursak faz kaydırıcı yama elemanları YD üzerinde farklı noktalara yerleştirilir. Yerleştirilen bu noktaların her birinin farklı faz gecikme ihtiyacı vardır. Faz kaydırıcı yama elemanlar ise farklı parametre kombinasyonları ile farklı faz farklarına neden olmaktadır. Bu yüzden faz kaydırıcı yama elemanlarının hangi parametrelerine sahip olacağına karar verebilmek için o koordinatların faz ihtiyaçlarının sağlıklı bir şekilde tespit edilmesi gerekmektedir. Bu faz ihtiyacının sağlıklı bir şekilde belirlenmesi MYD tasarımı için çok önemlidir.



Şekil 6. 1 Besleme anteninin yakın alan analiz sonucu

Yukarıdaki şekilde MYD antenin beslemesinde kullanılan horn anten tarafında oluşturulan Elektrik alanın yakın alan analizi sonucu elde edilen sonuç gösterilmektedir. Kaynak olarak kullanılan horn antenin yakın alan analizi bakıldığı zaman eş faz eğrilerinin küresel bir yayılım gösterdiği gözlemlenmektedir. Bu bize faz ihtiyacının belirlenmesi için bir yaklaşım yapmamızı sağlamaktadır. Biz bu çalışmada literatürde genelde küresel yaklaşım yapıldığı için küresel bir yaklaşım yapmayı tercih ettik. Alternatif olarak parabolik bir yaklaşım da yapılabilmektedir.

Horn antenin yakın alan faz eğrilerinin küresel olmasından dolayı horn anten ile düzlemsel bir yüzeyin farklı noktalarındaki yol farkı eşit olmamaktadır. Şekil 6.2 de görüldüğü gibi yüzeyin her bir noktası farklı bir ΔS değerine eşittir. Odak düzleminde düzlemsel bir dalga alanı oluşturabilmek için ΔS kaybı giderilmelidir. Günlük yaşamda bu sadece, sinyal geciktirilmesi ile sağlanabilmektedir.



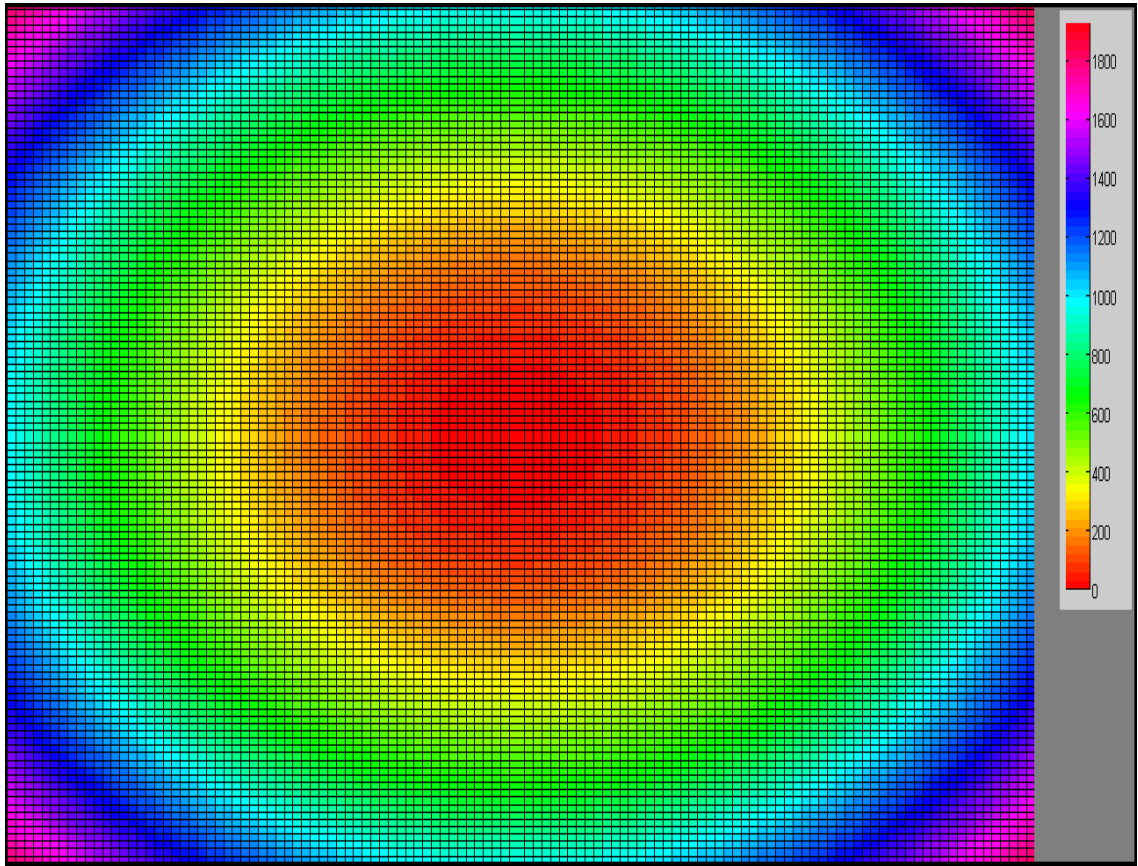
Şekil 6. 2 Besleme antenin yansıtıcısının farklı noktalarına olan yol farkı

Parabolik yansıtıcı antenin şeklinin parabolik olması, gelen küresel dalgayı düzlemsel dalgaya, yol farkı problemi yaşanmadan çevrilmesine olanak vermektedir. Yani küresel gelen faz eğrileri antenin şeklinden dolayı aynı anda yansıma şansına sahip olmaktadır. MYD antenin ise düzlemsel yapısından dolayı bu sorun faz kaydırıcı elamanlar sayesinde aşılması gerekmektedir.

MYD de eş faz yüzeyini düzlemsel olarak oluşturabilmek için merkeze yerleştirilecek mikroşerit elemanın maksimum gecikme vermesi gerekir çünkü küresel gelen elektromanyetik eş faz yüzeyin ilk çarptığı yer MYD nin merkezidir.

Antenin uç noktalarına gidildikçe bu gecikme minimuma inmelidir. Sınırdaki elamanların ise sıfır gecikme vermesi gerekir. Daha önce bahsedildiği gibi öncelikle yaptığımız küresel yaklaşım ile MYD anten üzerine dizilecek noktaların faz ihtiyacının doğru bir şekilde tespit edilmesi gerekmektedir.

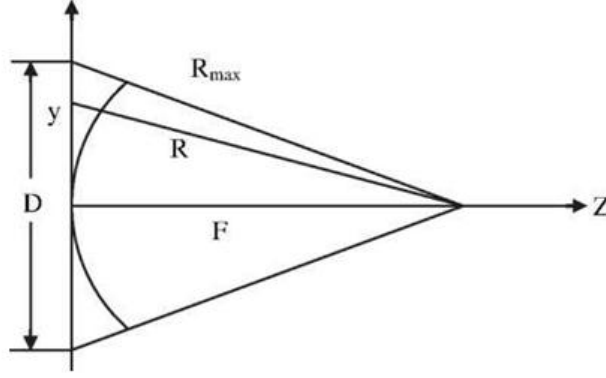
Aşağıdaki şekil bir yansıtıcı yüzey üzerindeki merkez ile antenin diğer noktalarındaki faz farkı gözlenmektedir. Merkezden sınırlara gidildikçe merkez ile olan faz farkının arttığı gözlenmektedir. Antenin köşe noktaları referans alındığı zaman antenin merkezine daha fazla gecikme vermek gerekmektedir.



Şekil 6. 3 Yansıtıcı anten üzerindeki faz ihtiyaç analizi

6.2 Faz İhtiyacının Hesaplanması ve Analizi

Anten üzerindeki herhangi bir noktanın gerekli faz gecikme ihtiyacı ışın izleme tekniği kullanılarak tespit ediyoruz. Şekil 6.4 de görüldüğü gibi, merkezde olan horn anten tarafından yüzey aydınlatılıyor.



Şekil 6. 4 Faz ihtiyacı analizi için küresel yaklaşım modeli[11]

Merkeze yansıtılan ışınla, Anten üzerindeki herhangi bir “y” noktasına yansıtılan ışın arasındaki yol farkı;

$$\Delta R(y) = \sqrt{F^2 + y^2} - F \quad (6.1)$$

F: Beslemenin yüzeye olan uzaklığı

Antenin köşe noktaları göz önünde bulundurulursa $y=D/2$ için yol farkı,

$$\Delta R(\max) = F \left(\sqrt{1 + 0.25 \left(\frac{F}{D} \right)^2} - 1 \right) \quad (6.2)$$

olarak bulunur [11].

$\Delta R(\max)$ merkez noktasının besleme antene uzaklığı ile antenin uç noktasının besleme noktasına uzaklığı arasındaki yol farkıdır.

Antenin uç noktası ile herhangi bir y noktası için gerekli faz gecikme ihtiyacı aşağıda ki formül aracılığıyla tespit edilir.

$$\Phi(y, f) = -\beta (\Delta R_{\max} - \Delta R(y)) = -2\pi \frac{f}{c} (\Delta R_{\max} - \Delta R(y)) \quad (6.3)$$

Buradaki “ β ” katsayısı ortamın yol sabitidir. Ortam kayıpsız olarak ele alınmıştır. Eksi işaret gecikmeyi temsil etmekte ve “f” de işlemin frekansını temsil etmektedir[11].

Başta elde edilen denklemler yukarıdaki formülde yerine koyulursa.

$$\Phi(y, f) = -\beta (\Delta R_{\max} - \Delta R(y)) = -2\pi \frac{fF}{c} \left(\sqrt{1 + 0.25 \left(\frac{D}{F} \right)^2} - \sqrt{1 + \left(\frac{y}{F} \right)^2} \right) \quad (6.4)$$

Denklemini elde edilir[11].

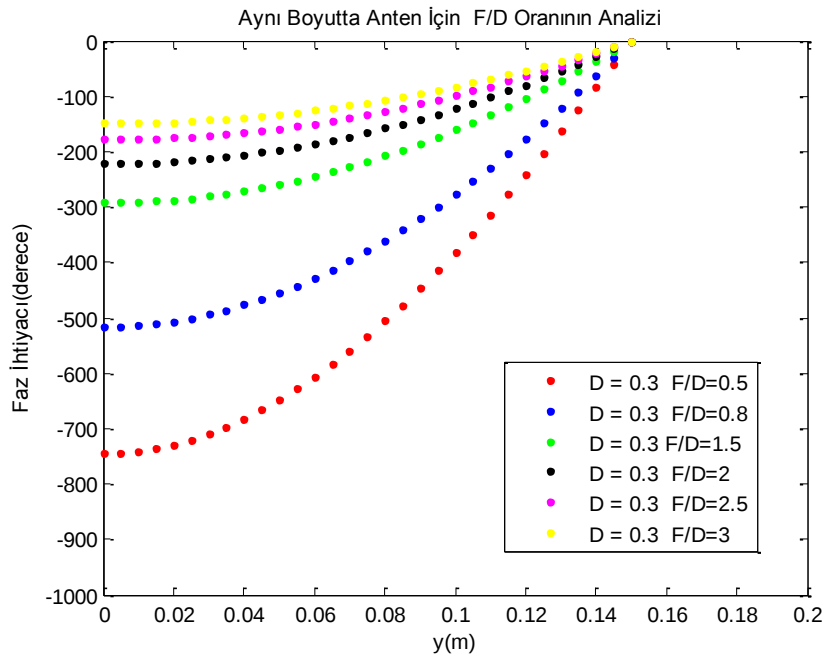
Bu denklemlerden de anlaşıldığı üzere telafi edilmesi gereken faz ihtiyacı frekansa(f),antenin boyuna (D) ,merkezden uzaklığa (y) ve besleme antenin yansıtılan yüzeye uzaklığına (F) olmak üzere 4 parametreye bağlıdır[11].

Beslemenin düzleme en yakın olduğu yer, düzlemin merkezi olduğu için faz geciktirme işlemimizi yaparken, merkeze maksimum sınırlara ise sıfır gecikme vermeliyiz.

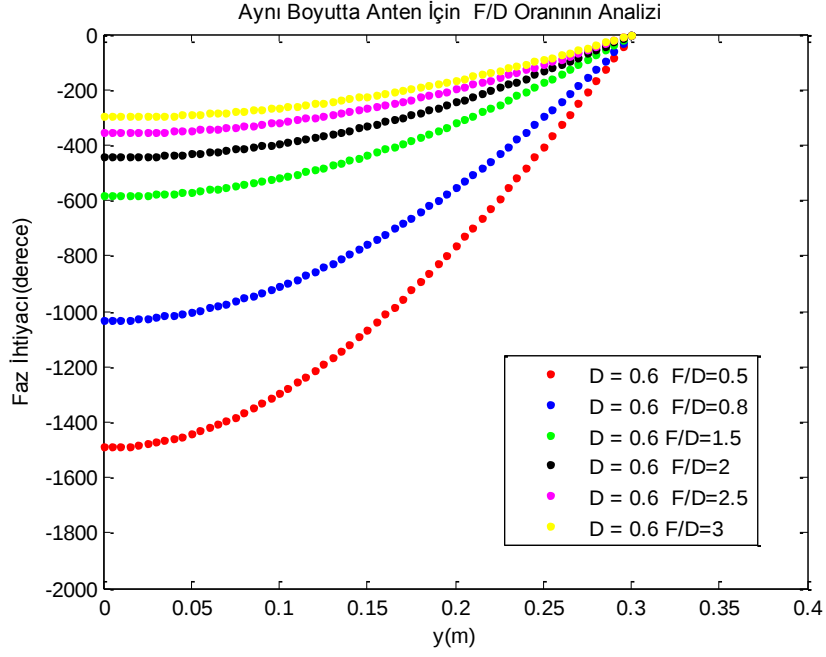
Merkezdeki maksimum faz gecikme ihtiyacı ise aşağıda verilen formül aracılığıyla bulunur[11].

$$|\Phi(y = 0, f, D, F)|_{\max} = -2\pi \left[\frac{fF}{c} \sqrt{1 + 0.25 \left(\frac{D}{F} \right)^2} - 1 \right] \quad (6.5)$$

Elde edilen 6.4 deki bu formülün parametrelerine göre analizi yapıldığında ortaya aşağıdaki grafikler çıkmaktadır.



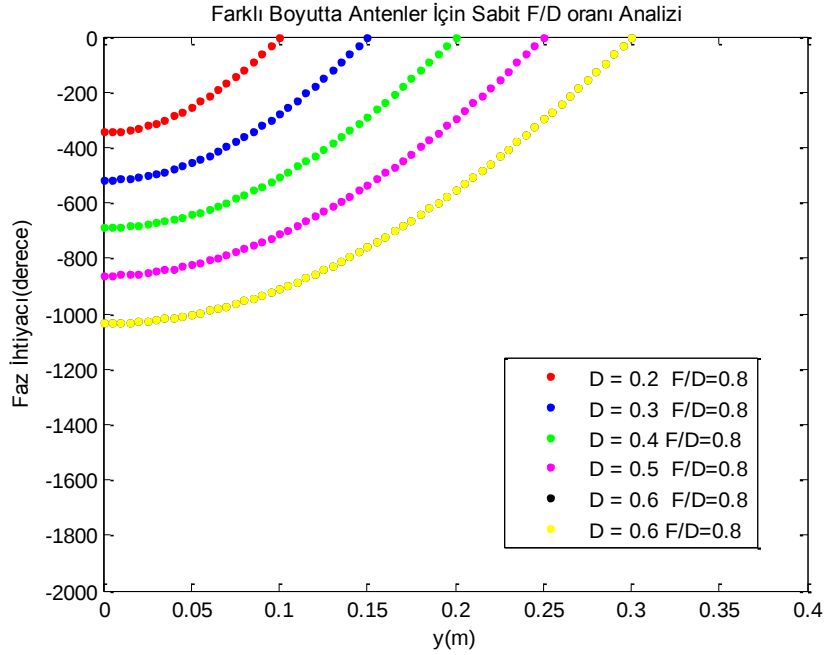
Şekil 6. 5 Anten boyutlarının sabit alınıp farklı F/D oranlarının faz ihtiyacı analizi



Şekil 6. 6 Anten boyutlarının sabit alınıp farklı F/D oranlarının faz ihtiyacı analizi

Şekil 6. 5 ve Şekil 6. 6 da faz ihtiyacının antenin boyları sabit tutularak farklı F/D oranının analizi yapılmıştır. Bu analizde amaç F/D oranının faz ihtiyacına olan etkisi incelenmesidir. Grafikte görüldüğü üzere aynı boyutta anten için F/D oranının artması tasarlanacak yama elemanlarının maksimum faz gecikme ihtiyacını azaltmaktadır. Aynı F/D oranı için antenin boyutlarının küçülmesi de köşe noktalar ile merkez nokta arasındaki faz farkını beklediği gibi düşürmektedir. Maksimum faz ihtiyacını artması MYD antenin dar bantlı olmasına sebep olmaktadır. Çünkü 360^0 üzerindeki maksimum faz ihtiyacı olan kombinasyonlarda, gönderdiğimiz sinyalin sinüzoidal periyodik bir dalga olmasından dolayı 360^0 lik kesimler yaparak tasarımıımızı o şekilde gerçekleştirmemiz gerekmektedir[11]. Bu 360^0 lik kesimlerden kastedilen şekilde görülen 360^0 büyük değerlerden 360 çıkartılarak faz ihtiyacının tespit edilmesidir. Bu çıkarma çalışılan frekans için hiçbir problem çıkarmaz. Fakat faz ihtiyacının belirlenmesinde kullanılan formülden de anlaşılacağı üzere faz ihtiyacı frekansa bağlıdır. Yaptığımız 360^0 lik kesimler farklı bir frekans için ciddi faz hataları oluşturabilmektedirler[11]. Bu yüzden 360^0 üzerindeki faz ihtiyacının gerektiren F,D kombinasyonları, geniş bantlı tasarımlarda tercih edilmemelidir. Görüldüğü gibi büyük F/D oranlarının kullanılması kesim yapmaya ihtiyaç bırakmamaktadır ancak açıklık

verimini düşürmektedir. Açıklık veriminin düşmesi antenin kazancının düşmesi demektir bu da istenmeyen bir durumdur.



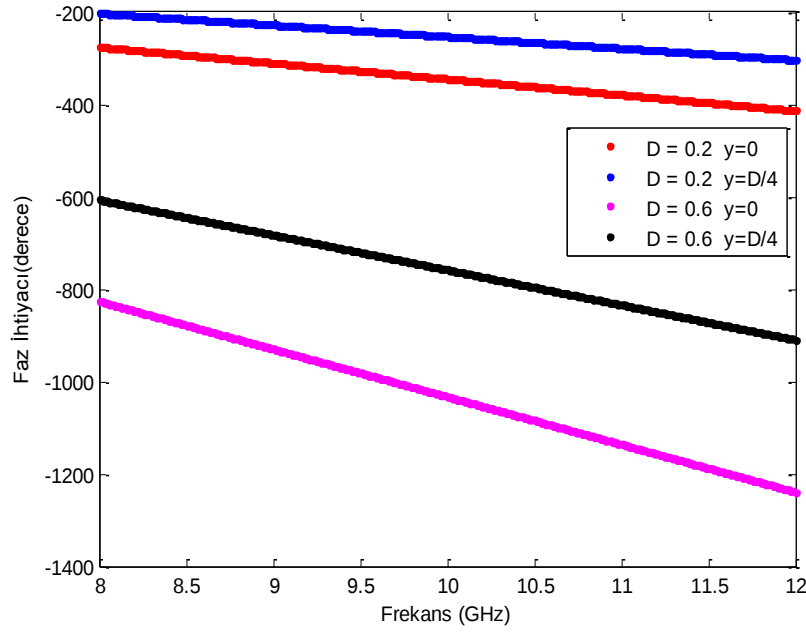
Şekil 6. 7 F/D oranlarının sabit alınıp farklı anten boylarının faz ihtiyaç analizi

Şekil 6. 7 deki şekilde ise anten boyunun aynı F/D oranlarında faz ihtiyacına etkisi gözlemlenmiştir. Görüldüğü gibi anten boyunun artması faz ihtiyacını maksimum değerini arttırmaktadır. Ancak aynı F/D oranları olduğu için ihtiyacın eğimi değişmemektedir [11].

6.3 Faz Gecikmesi Frekans İlişkisi

Geniş bantlı mikroşerit yansıtıcı dizi anten tasarlamak istendiği zaman, faz ihtiyacının belirlenmesin de frekans da göz önünde bulundurulması gerekmektedir. (6.3) ve (6.5) denklemlerini göz önünde bulundurursak bu değişimin lineer olduğu gözlenmektedir.

F/D=0.8 olarak alınarak Şekil 6.8 deki grafik oluşturulmuştur.



Şekil 6. 8 Aynı anten boyları için farklı noktaların frekansa bağlı faz gecikme analizi

Şekil 6.8’de görüldüğü gibi geciktirilmesi gereken faz miktarı dizinin merkezindekiler için daha fazladır ve lineer bir şekilde frekansa bağlı olarak artmaktadır. Aynı zamanda değişim miktarı veya eğim,”y” koordinatının merkeze yaklaşmasıyla artmaktadır. Yani frekansın değişiminden etkilenme antenin merkezinden köşe noktalarına gidildikçe artmaktadır. Bu bilgi, geniş bantlı mikroşerit yansıtıcı anten tasarlanması için önemlidir[11].

Faz farkının frekansa bağıllığı denklem 4’ün türevini alarak elde edilebilir.

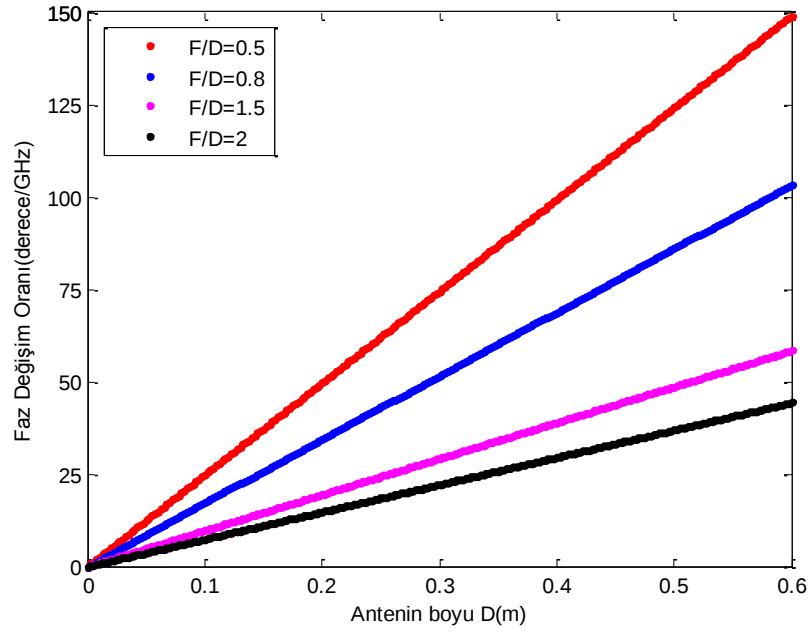
$$\frac{d\Phi(y,f)}{df} = -2\pi \frac{F}{c} \left(\sqrt{1 + 0.25 / \left(\frac{F}{D}\right)^2} - \sqrt{1 + \left(\frac{y}{F}\right)^2} \right) \quad (6.6)$$

(c → ışık hızı)

Bu denklemden de anlaşıldığı üzere, $\frac{d\Phi(y,f)}{df}$, F ve D’ye bağlıdır. $\frac{d\Phi(y,f)}{df}$, array merkezinden array’in sınırlarına doğru azalır. Bu oranın maksimum değeri array’in merkezinde oluşur ve formülleri aşağıdaki gibidir.

$$\left. \frac{d\Phi(y,f)}{df} \right|_{\max} = -2\pi \frac{F}{c} \left(\sqrt{1 + 0.25 / \left(\frac{F}{D}\right)^2} - 1 \right) \text{ (rad/Hz)} \quad (6.7)$$

$$\left. \frac{d\Phi(y,f)}{df} \right|_{\max} = -1200 F \left(\sqrt{1 + 0.25 / \left(\frac{F}{D}\right)^2} - 1 \right) \text{ (derece/Hz)} \quad (6.8)$$



Şekil 6. 9 Farklı F/D boylarının farklı anten boyları için faz değişim analizi

Şekil 6.9 da görüldüğü gibi büyük $\frac{F}{D}$ oranları frekansa olan hassasiyetin az olmasına neden olmaktadır. Büyük $\frac{F}{D}$ oranları frekans değişimlerine olan faz hassaslığını düşürür. Faz hassaslığı sabit odak uzaklığı (F) için array çapı D'nin artmasıyla lineer bir şekilde artar.

Sonuç olarak bu bölümü toparlarsak öncelikle faz ihtiyacının tespiti için küresel bir yaklaşım yaparak faz ihtiyacını formüllerini oluşturduk daha sonra ise bu yaklaşımları matlab aracılığı ile koda dönüştürerek grafik şekilleri üzerinde analizini yaptık. Bu analize göre yapılan tespitler:

- Anten boyunun (D) sabit alınıp besleme antenin yüzeyde uzaklaştırılsa antenin uç noktası ile merkez arasındaki faz ihtiyacı düşmektedir. Bu tasarımın bandının artmasına önemli katkıda bulunur.
- Beslemenin antene olan uzaklığının(F) sabit alınıp antenin boyu arttırılırsa merkez ile antenin uç noktası arasındaki faz farkı artmaktadır. 360^0 üzerinde bir faz farkı ise bandın daralmasına neden olmaktadır.
- Beslemenin antene olan uzaklığının (F) sabit alınıp antenin boyunun arttırılması antenin üzerindeki koordinatların frekansa bağlılığını arttırmaktadır.

- Antenin merkezi ile antenin diğer noktaları arasındaki faz farkı frekansa bağlıdır. Farklı frekanslarda farklı faz ihtiyaçları oluşur. Bunun en çok hissedildiği yerler antenin merkezidir.

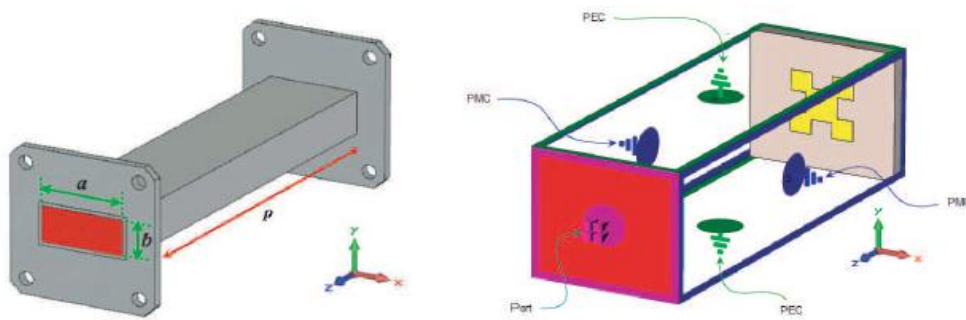
Bu tespitler ışığında bakıldığında eğer geniş bantlı bir tasarım yapılmak isteniyorsa küçük anten boyu büyük F/D oranı tercih edilmelidir. Tabi bunu yaparken antenin kazancının düşeceği göz önünde bulundurulmalıdır.

6.4 Birim Eleman Seçimi ve Faz Karakteristiğinin Tespiti

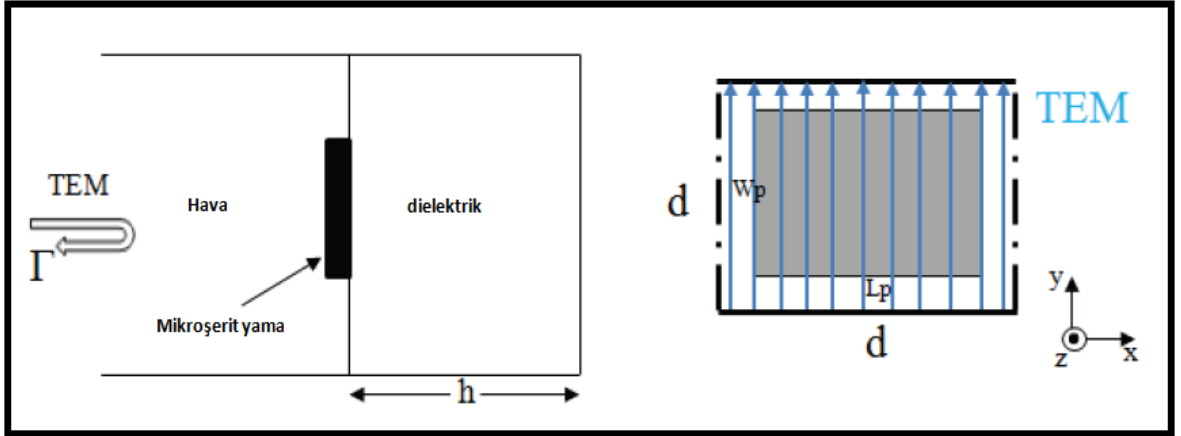
Yansıtıcı dizi anten tasarımında kritik noktalarda bir tanesi de birim yama elemanını seçilmesi ve faz karakteristiğinin çıkartılmasıdır. Bu birim elamanlarının faz karakteristiklerinin çok doğru bir şekilde tespit edilmesi gerekmektedir.

Farklı şekiller farklı faz geciktirme karakteristiğine sahiptir hangisinin tasarımda kullanılacağını tespit edebilmemiz için her bir yama elemanının tek tek analiz edilmesi gerekmektedir. Bu bölümde farklı ayama elemanlarının faz geciktirme karakteristiği çıkartılacak ve performanslarının karşılaştırılması yapılacaktır.

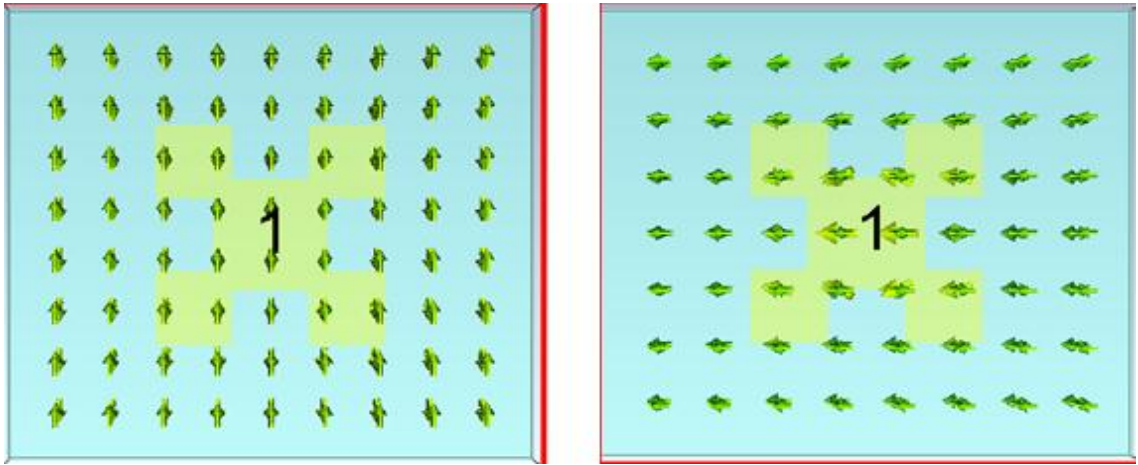
Bunun için birim elemandan yansıyacak dalganın faz kayması 3 boyutlu benzetim programı aracılığı ile tespit edilmiştir. Birim elmanın faz kaydırma karakteristiğinin çıkartılması işlemi için elemanı X bant bir dalga kılavuzu içerisine konulmuştur. Dalga kılavuzu içerisindeki üzerine TEM dalga gönderilerek S_{11} değerinin faz açısı değerleri her bir uzunluk için çıkartıldı.



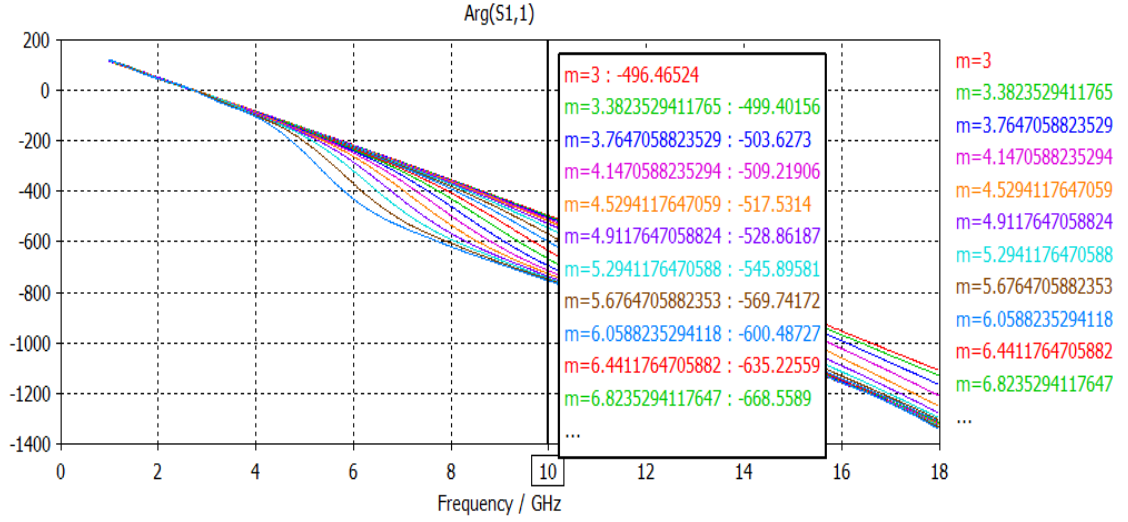
Şekil 6. 10 Üç Boyutlu benzetim programında kullanılan dalga klavuzu modeli[6]



Şekil 6. 11 Dalga klavuzu analiz modeli[7]

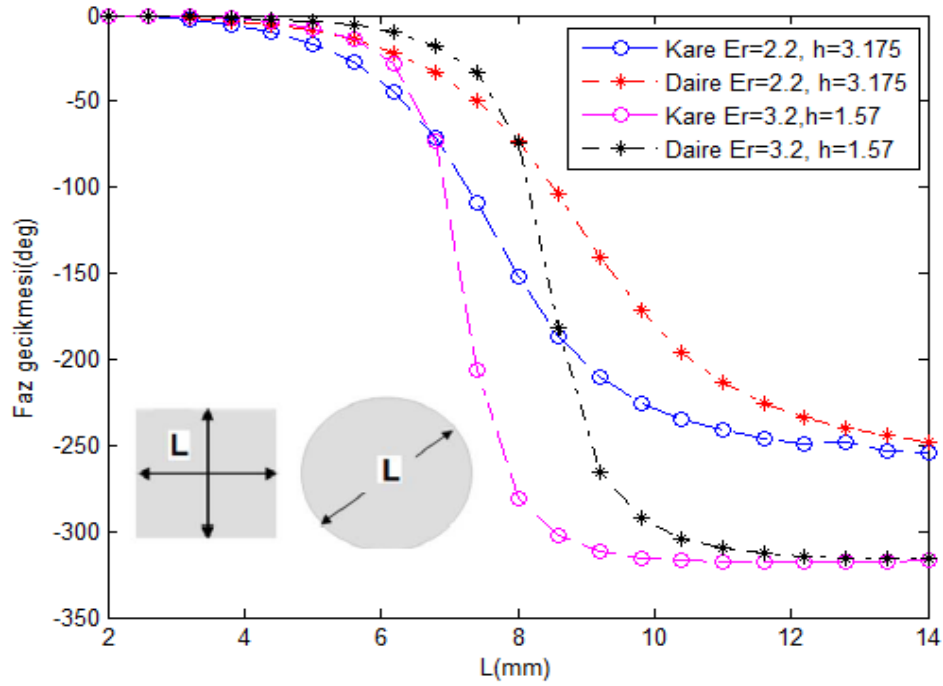


Şekil 6. 12 Birim yama üzerine gönderilen elektrik alan ve manyetik alan bileşenleri



Şekil 6.13 Üç boyutlu benzetim programında kullanılan dalga kılavuzu modeli aracılığıyla farklı uzunluklar için elde edilen faz geciktirme karakteristiği

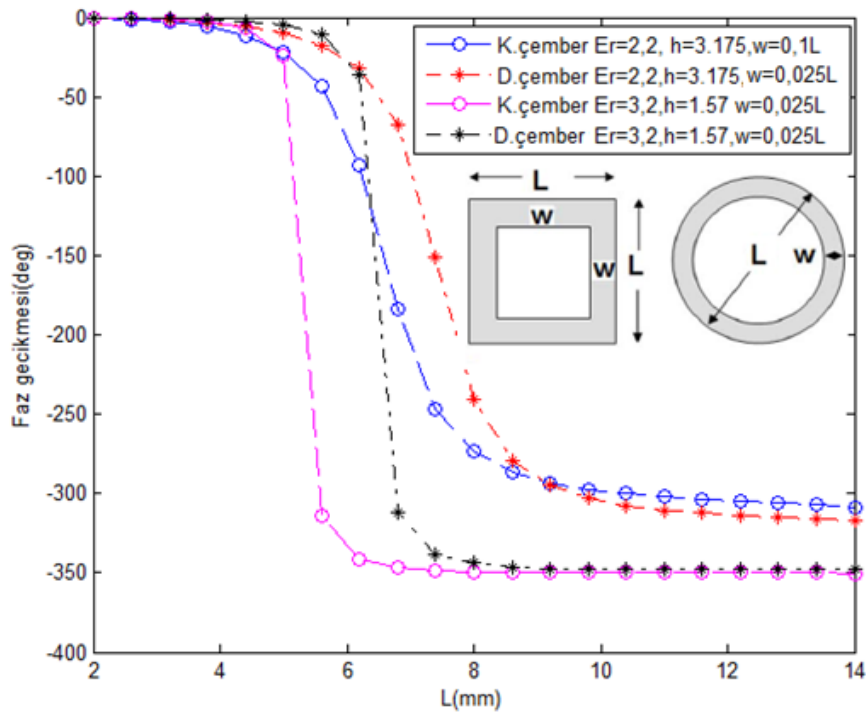
Şekil 6.13’de örnek bir karakteristik gösterilmiştir. Her bir uzunluk değeri için $\text{Arg}(S_{1,1})$ değerleri farklı farklı olmaktadır. Bu sayede kullanılacak geometrik elemanın karakteristiği çıkartılmış olur. Aşağıdaki şekillerde bu karakteristiklere yer verilmiştir.



Şekil 6. 14 Farklı malzemeler kullanılarak kare ve daire yamalar için uzunluk başına faz geciktirme grafiği

Yukarıdaki şekilde kare ve daire yamanın faz karakteristiği örnek olarak çıkartılmıştır. Bu grafiğe baktığımız zaman antende kullanılacak malzemenin karakteristik özelliğinin yani epsilon(ϵ) ve kalınlığının(h) yamanın performansına etkisi gözlenmektedir. Aynı zamanda farklı şekillerinde etkisinin de faz geciktirme eğrisini etkilediği görülmektedir.

Kullanılan geometrik elamanın faz grafiği incelenerek kullanılacak antenin malzemesi veya kullanılacak yamanın geometrisine karar verilmelidir. Çünkü antende kullanılacak dielektirik malzemenin özellikleri ve geometri, faz grafiğinin özelliklerini etkilemektedir [7],[8],[9],[10],[11].

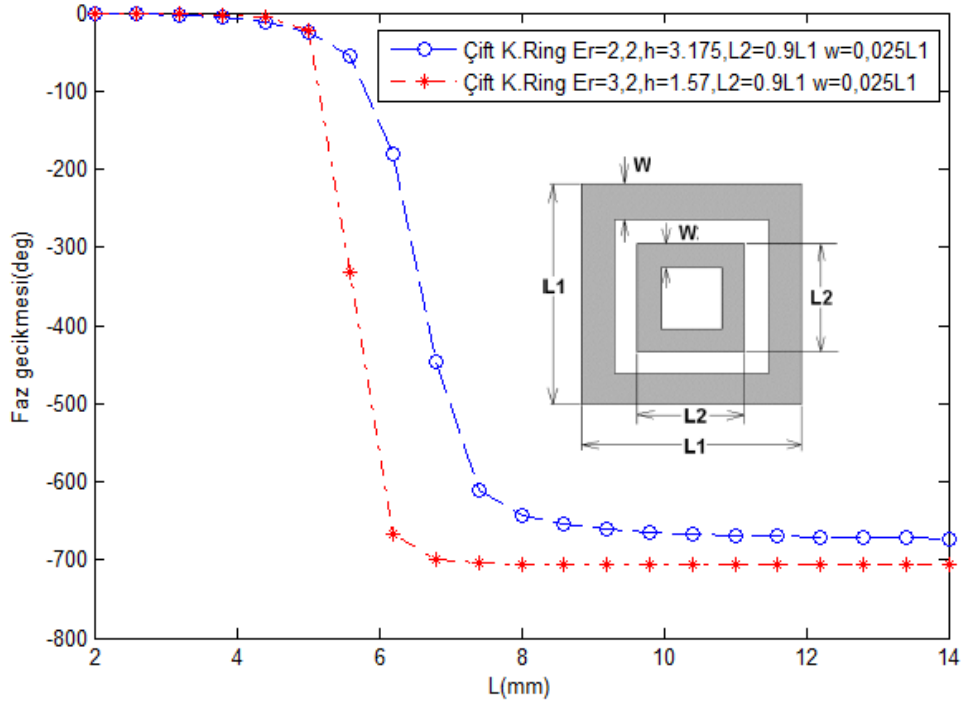


Şekil 6. 15 Farklı malzemeler kullanılarak kare ve daire halka yamalar için uzunluk başına faz geciktirme grafiği

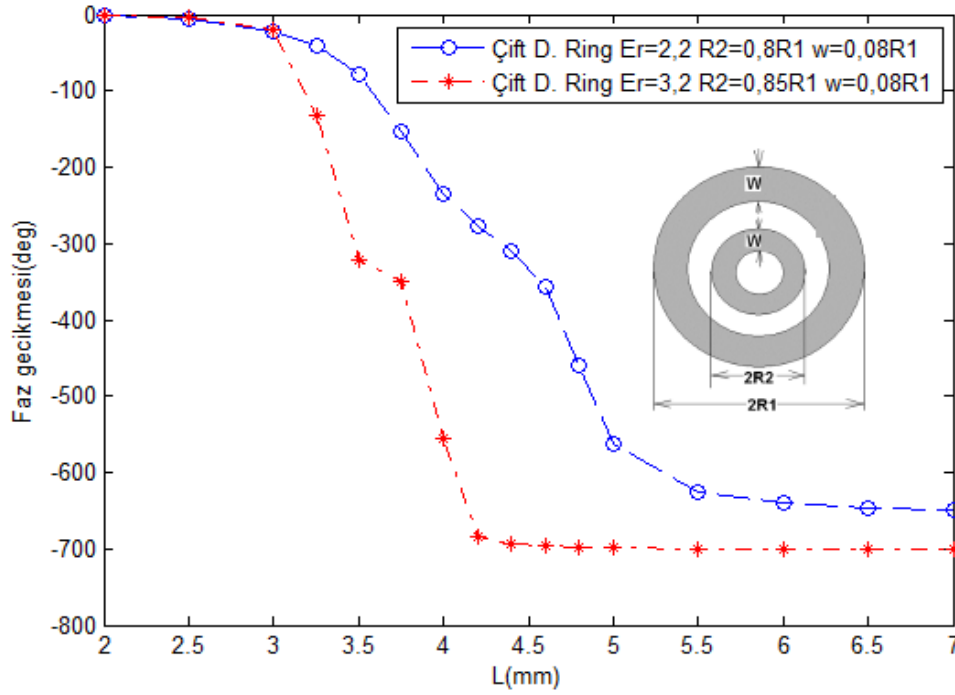
Yukarıdaki şekilde bir önceki şekilde kullanılan yama elemanlarının içinin boşaltılıp çerçeve haline getirilmesiyle elde edilen grafik gösterilmektedir. Bu grafiğe bakıldığında zaman faz rangenin arttığı gözlenmektedir[12].

Faz elmanın seçiminde önemli noktalarda bir tanesi kullanılacak elemanın faz rangenin geniş olmasıdır. Eğer kullanılacak elemanın faz rangi geniş ise anten üzerinde daha çok ışıyan eleman dizilebilir demektir[12]. Bu konu anten tasarımı kısmında daha iyi anlaşılacaktır. Kullanılan eleman tek parça bir eleman faz genişliği 360° olan eleman tercih sebebidir. Ancak tek bir elmandan tam olarak 360° bir faz karakteristiği elde

edilemez. Eğer elaman İki katmanlı veya iç içe halka şeklinde bir geometriye sahip ise 360° nin üzerinde faz rangeleri elde edilebilir. Aşağıdaki şekillerde bunun örnekleri çıkartılmıştır. Önceki örneklerde kullanılan yama elemanları iç içe halkalar haline getirilip o şekilde analiz yapıldığı zaman 360° üzerinde bir performans elde edilmiştir. Ancak bunun dezavantajı üretim hatasına olan toleransın çok yüksek olmasıdır[12]. Çünkü ufak bir üretim hatasında istenen faz gecikmesinden çok farklı bir noktaya gelinir. Bu istenmeyen bir durumdur.



Şekil 6. 16 Farklı malzemeler kullanılarak iç içe kare halka yamalar için uzunluk(L1) başına faz geciktirme grafiği



Şekil 6. 17 Farklı malzemeler kullanılarak iç içe daire halka yamalar için uzunluk(R_1) başına faz geciktirme grafiği

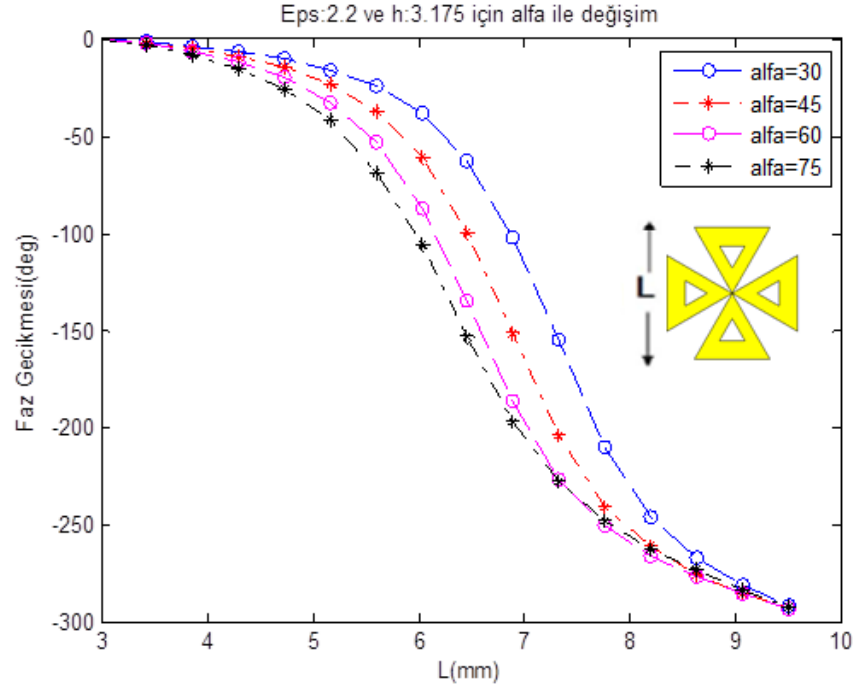
Kullanılacak geometrik elamanın seçiminde birim uzunluk başına faz değişimi dikkat edilmesi gereken özelliklerden biridir. Bu grafiğin eğimin mümkün olduğunca eğiminin düşük olması istenmektedir. Bu aslında daha çok antenin üretimi sırasında karşılaşılabilecek bir problemdir eğer grafiğinizin eğimi çok keskin bir eğime sahipse üretim sırasında yaşanabilecek hataya toleransı azalmaktadır çok küçük yanlış üretimlerde antende kullanılan faz elamanı yüksek faz hatası vermektedir. Eğimin düşük olması aynı zamanda tasarlanan antenin bandının geniş olmasında da önemli rol oynamaktadır. Düşük eğime sahip olan geometrilerin frekansa olan bağımlılığı daha düşük olduğu için frekans değişimlerinden az etkilenir ve farklı frekanslarda daha az faz hatası verir [12].

Bu bilgiler ışığında baktığımız zaman kullanılacak yama elemanın çeşidini tespit ederken dikkat edilmesi gereken iki husus vardır bunlardan biri faz geciktirme eğrisinin rangi diğeri bu eğrinin eğimidir. Rangeden çok fedakârlık yapmadan, eğiminde düşük olmasını dikkate alarak yama seçimini yapmamız gerekmektedir.

Biz çalışmamızda karenin türevleri olan maltacross ve minkowski yansıtıcı dizi elemanlarını kullanarak tasarımıımızı yaptık. Bu sayede şeklin kompleksleşmesinin sağladığı faydayı görmüş olacağız. Ayrıca üzerinde çalışılan yama elemanlarından en

iyi performansı minkowski ve maltacross elemanından aldığımız için daha iyi bir anten performansı elde edilmiş olacaktır. İleriki bölümlerde yama elemanının performansının antenin performansını nasıl arttırdığını grafiklerle göstereceğiz.

Aşağıdaki şekillerde tasarımda kullanılan maltacross ve minkowski yama elemanlarının performansları incelenmiştir.



Şekil 6. 18 Maltacross yama için uzunluk(L) başına faz geciktirme grafiği

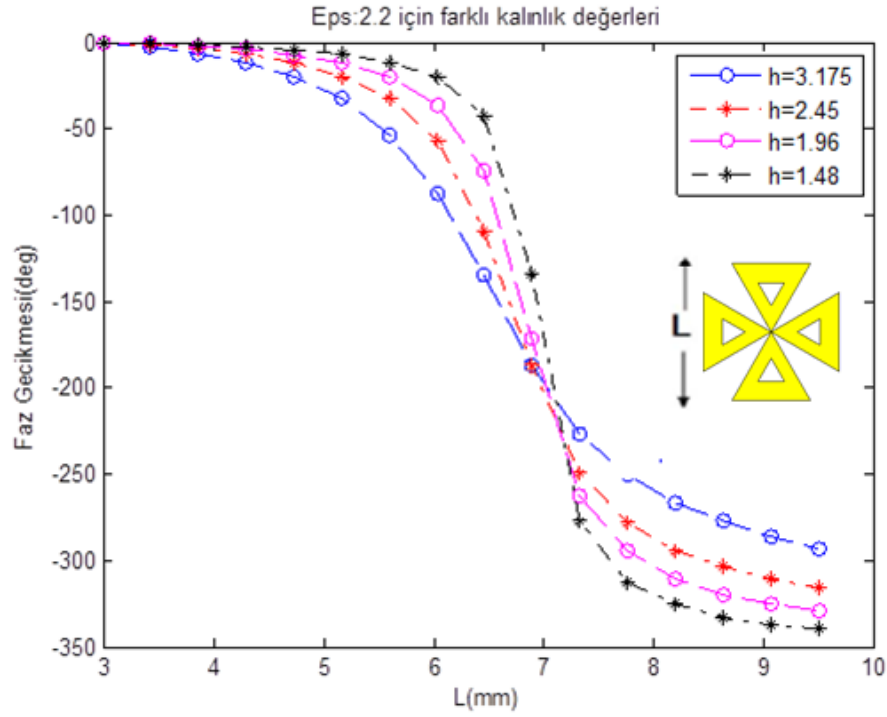
Yukarıdaki şekilde maltacross oluşturan üçgenlerin merkez açısı alfaya olan bağılılığı analiz edilmiştir. Dielektrik malzemenin kalınlığı 3.175 ve epsilon değeri 2.2 seçilmiştir.

Çizelge 6. 1 Maltacross yamanın alfa değerine göre range ve eğim karşılaştırması

α Değerleri	$\alpha=30$	$\alpha=45$	$\alpha=60$	$\alpha=75$
Range	-291,74	-292,769	-293,284	-292,755
Eğim	68,56633	62,18572	57,34747	56,02953

Şekilde görüldüğü üzere alfa'nın azalması ya da artması rangenin değişimine etkisi olmamaktadır. Şeklin sağladığı faz range değeri yaklaşık bütün kombinasyonlarda 290^0 civarındadır. Yalnız eğrinin eğimine bakıldığında alfanın 60^0 olduğu kombinasyonun tercih edilebilir bir performans sergilediği söylenebilir.

Aşağıdaki şekilde alfa 60^0 seçilerek dielektrik malzemenin kalınlığının performansa olan etkisi incelenmiştir.



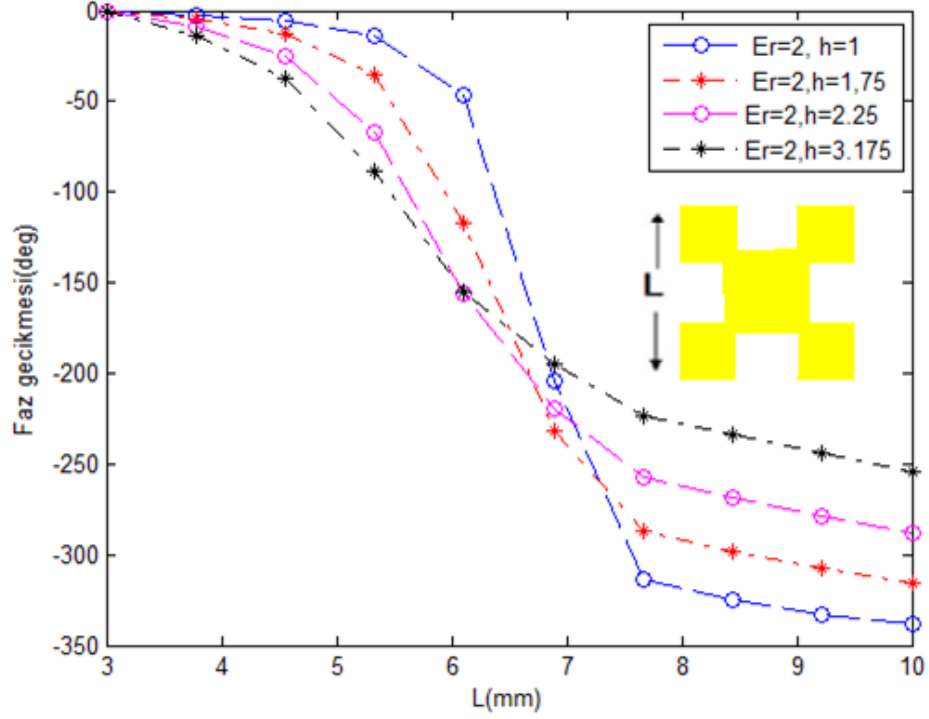
Şekil 6. 19 Maltacross yamanın aynı dielektrik malzeme kullanılarak farklı kalınlıkları için uzunluk(L) başına faz geciktirme grafiği

Çizelge 6. 2 Maltacross yama elemanın yüksekliğe göre range ve eğim karşılaştırması

Dielektrik malzeme kalınlığı(h)	3,175	2,45	1,96	1,48
Range	-293,2838745	-316,113	-328,861	-339,564
Eğim	81,84788631	90,58332	126,489	140,9114

Yukarıdaki şekilde görüldüğü gibi kullanılan dielektrik malzemenin kalınlığı faz gecikme eğrisinin performansının önemli ölçüde etkilemektedir. Bunun sebebi kalınlığın yamanın sağladığı kapasitif etkiye direk bir etkisin olmasıdır. Kalınlığın yaklaşık yarıya düşmesi antenin ranginde 50^0 lik bir iyileşme sağlamaktadır. Anten rangenin büyük olması faz hatalarının azalmasına katkı sağlar. Fakat eğimin yüksek olması frekansa bağıllığı artırır ve üretim toleransını yükseltir. Bu yüzden bu ikisi arasında optimum bir kombinasyon seçilmelidir.

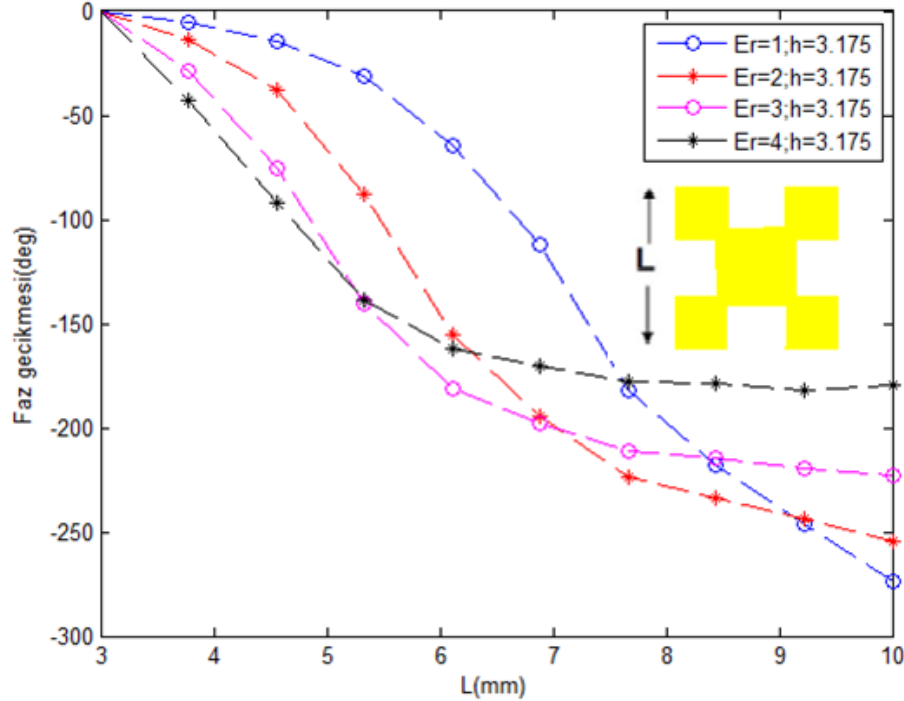
Aşağıdaki şekilde daha önce bahsedilen minkowski yansıtıcı elemanın performansı incelenmiştir. Bu yama aracılığıyla malzemenin kalınlığının etkisi ve dielektrik malzemenin epsilonunun faz gecikme eğrisine olan etkisi incelenecektir.



Şekil 6. 20 Minkowski yamanın aynı dielektrik malzeme kullanılarak farklı kalınlıkları için uzunluk(L) başına faz geciktirme grafiği

Bir önceki birim elmanda olduğu gibi dielektrik malzemenin kalınlığının artması range artmasına pozitif eğime ise negatif etki yapmıştır. Burada dikkat edilmesi gereken önemli bir nokta maltacross yama elemanın performansı aynı özelliklere sahip minkowski yama elemanından daha iyi bir performans sergilemesidir.

Aşağıdaki Şekil 6.20’de ise daha önce incelenmeyen, dielektrik malzemenin epsilonunun faz range’ne olan etkisini minkowski yama elemanı üzerinde gösterilmektedir.



Şekil 6. 21 Minkowski yamanın farklı dielektrik malzeme kullanılarak farklı kalınlıkları için uzunluk(L) başına faz geciktirme grafiği

Şekilde görüldüğü üzere epsilonun artması range azaltmış ancak eğimi düşürmüştür. Burdan anlaşılacağı üzere eğer range ile bir iyileştirmeyi önemseniyor ise epsilon değeri düşük malzemeler kullanılmalı ve eğer eğimin düşmesini isteniyor ise epsilonu büyük malzemeler tercih edilmesi gerekmektedir[12].

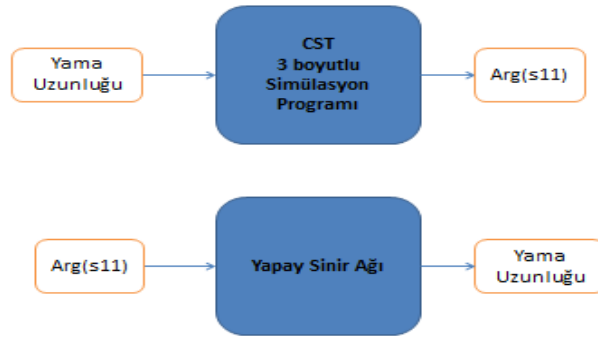
6.5 Birim Elemanın Yapay Sinir Ağı Modeli

MYD anten tasarımında kullanılan birim yama antenin yapay sinir ağı ile modellenmesi bizim tezimizin kritik noktasını oluşturmaktadır. Çünkü daha önceki bölümlerde anlatıldığı gibi birim elemanın faz geciktirme karakteristiğinin çıkartılması 3 boyutlu simülasyon programı aracılığı ile yapılmaktadır. Bu karakteristik çıkartılırken yamanın belirli uzunluklarını örnek olarak seçilip faz geciktirme eğrisi o örnekler üzerinden çıkartılıyordu. Yukarıdaki grafiklerde örnek olarak gösterilmiştir.

Ayrıca küresel yaklaşım yapılarak anten üzerindeki koordinatların faz ihtiyaçları tespit edilmişti. Simülasyon programı uzunluğu giriş olarak alıp çıkışında faz gecikmesini vermektedir. Biz ise anten üzerindeki koordinatların faz ihtiyacını hesaplıyoruz.

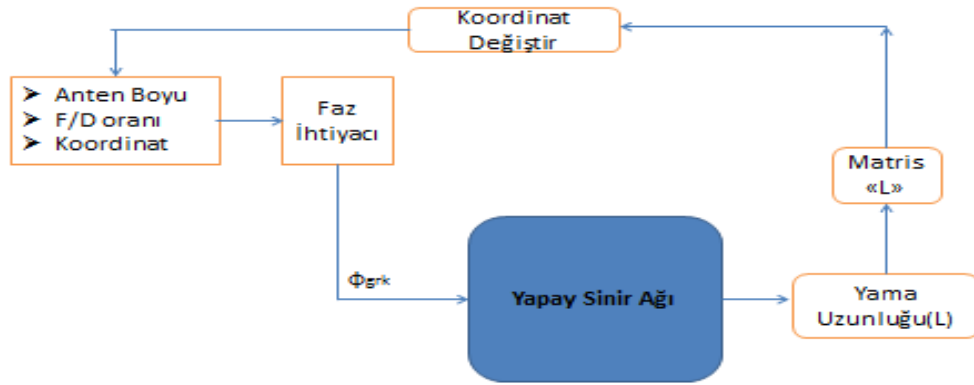
Biz simülasyonumuzu yaptıktan sonra aldığımız faz çıkış değerleri. İhtiyaç olarak hesaplanan fazlarla birebir oturmaya bilir. Bu ciddi bir tasarım zorluğu ortaya çıkarmaktadır. Biz tezimizde bu problemi yapay sinir ağı modellemeyi içeren iki farklı çözüm önermekteyiz.

Bunlarda birincisi çok basit ve hızlı bir çözümdür fakat yerel bir çözüm sağlamaktadır.



Şekil 6. 22 Üç boyutlu benzetim programı aracılığı ile elde edilen veriler eğitim verisi olarak kullanılmıştır

Bu çözümde 3 boyutlu benzetim programında elde edilen giriş çıkış değerleri ile yapay sinir ağı modellemesi yapılmıştır. Simülasyon programının çıkışı girişi de çıkış olarak yapay sinir ağı modellenmiştir. Bu sayede farklı koordinatların faz ihtiyaçlarını içeren $m \times n$ lik bir matris, yapay sinir ağı fonksiyonları ile oluşturulan ağı giriş olarak verilerek her bir koordinat için uzunluk değerleri saniyeler içinde elde edilmiştir.



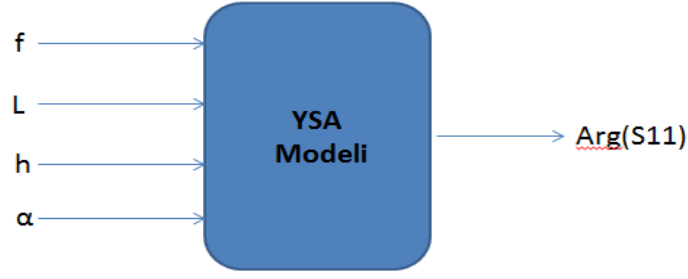
Şekil 6. 23 Anten tasarımı için kullanılan algoritma

Sonuç olarak tasarım için elimizde koordinat bağlı, faz gecikmeyi sağlayacak uzunlukları içeren $m \times n$ lik bir matris elde edilmiş olur.

Bu tasarım bizim için mükemmel bir kolaylık ve hızlilik sağlamıştır. Yalnız bu çözüm bize birim elemanımızın ve anten parametrelerinin sabit olduğu yani ϵ, h, F, D, f parametrelerinin sabit olduğu durumda geçerlidir. Bunlarda herhangi biri değiştiği zaman tekrardan bir eğitim gerekmektedir. Çünkü yapılan eğitim tersten yerel bir çözüm olması için yapılmış eğitimidir.

İkinci çözüm değişen durumların tek seferde tamamına hitap edecek şekilde oluşturduğumuz karmaşık bir çözümdür. Bu çözümde yapay sinir ağı modeli çok daha karmaşık bir şekilde kurulmak zorundadır. Çünkü anten birim yama elemanın parametrelerinin değişmesi durumunda doğru bir şekilde faz gecikme eğrisinin çıkartılması gerekmektedir.

Öncelikle yapay sinir ağını oluşturmamız gerekmektedir kaç giriş ve kaç çıkış olacağının belirlenip belirli sayıda veri ile ağı eğitilmesi gerekmektedir[13].



Şekil 6. 24 Eğitim modeli

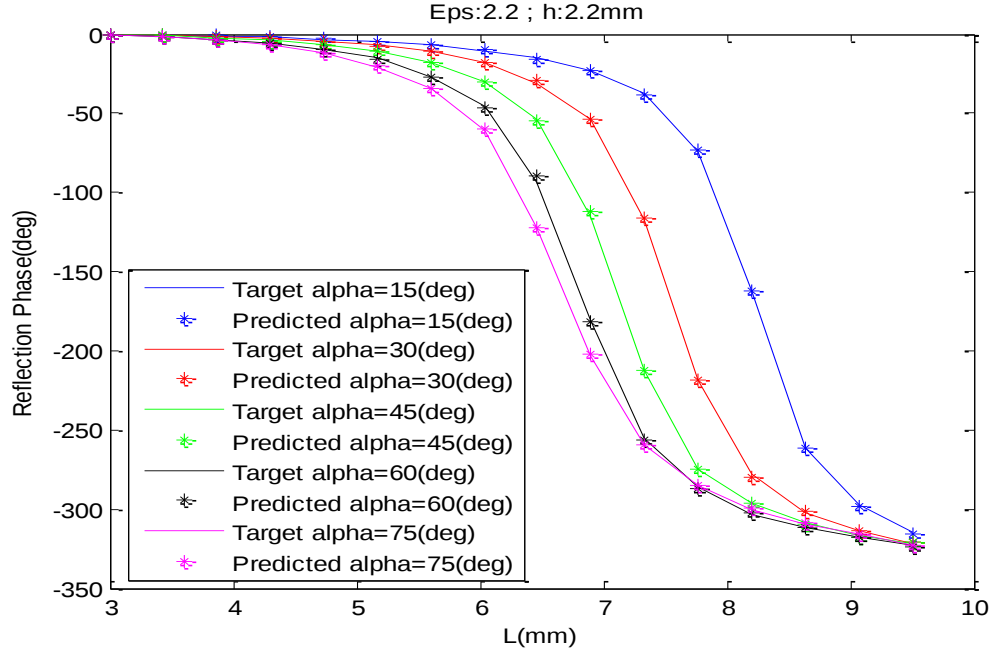
Yukarıdaki şekilde maltacross yama elemanın faz gecikme eğrisini etkileyen parametreler ağa belirli sayılarda eğitim verisi olarak verilmiştir.

Bu parametreler;

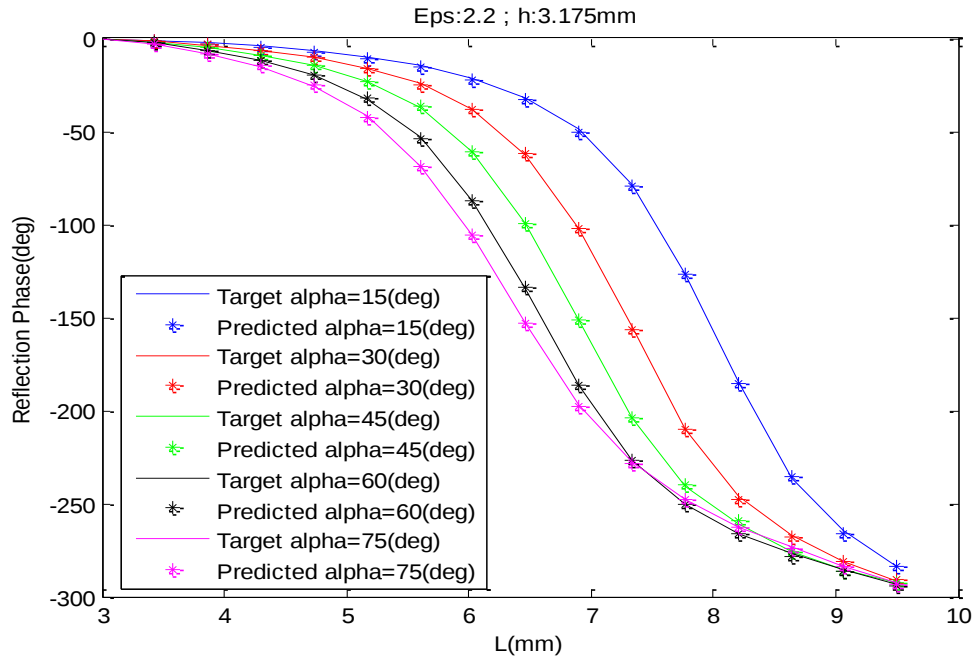
- Frekans(f) = 8Ghz ile 12Ghz arasında 60 değişken vardır.
- Dielektrik kalınlığı(h) = 1 ile 3.175 arasında 6 değişken vardır.
- Alfa(α) = 15 derece ile 75 derece arasında 5 değişken vardır.
- Yamanın Boyu(L) = 3 ile 9.5 arasında 16 değişken vardır.

Toplamda 28800 veri ile ağ eğitilmiş ve %99.9 luk başarı ile test sonuçları alınmıştır. Burada yapay sinir ağı fonksiyonu olarak newff fonksiyonu kullanılmıştır. Ağda üç katman kullanılmaktadır. Birinci katmanda 5 nöron kullanılmış ve transfer fonksiyonu olarak pürelin fonksiyonu kullanılmıştır. İkinci katmanda ise 30 nöron ve transfer fonksiyonu logsig kullanılmıştır. Son olarak üçüncü katmanda ise 10 nöron kullanılmış ve transfer fonksiyonu tansig olarak seçilmiştir.

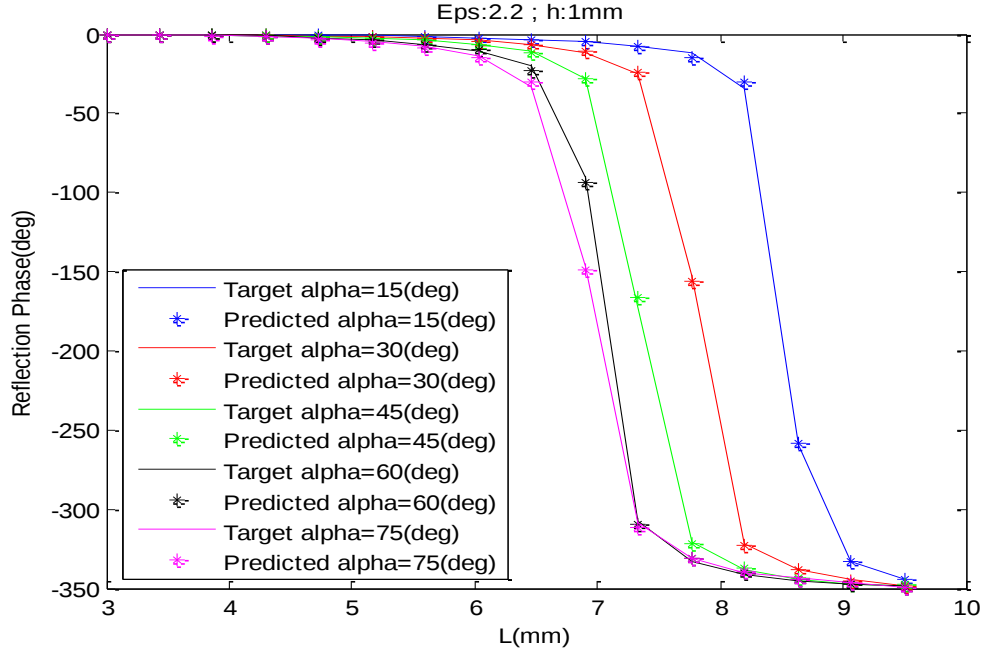
Aşağıda yapay sinir ağı ile oluşturulan modelin farklı durumlar için sonuçları gösterilmiştir.



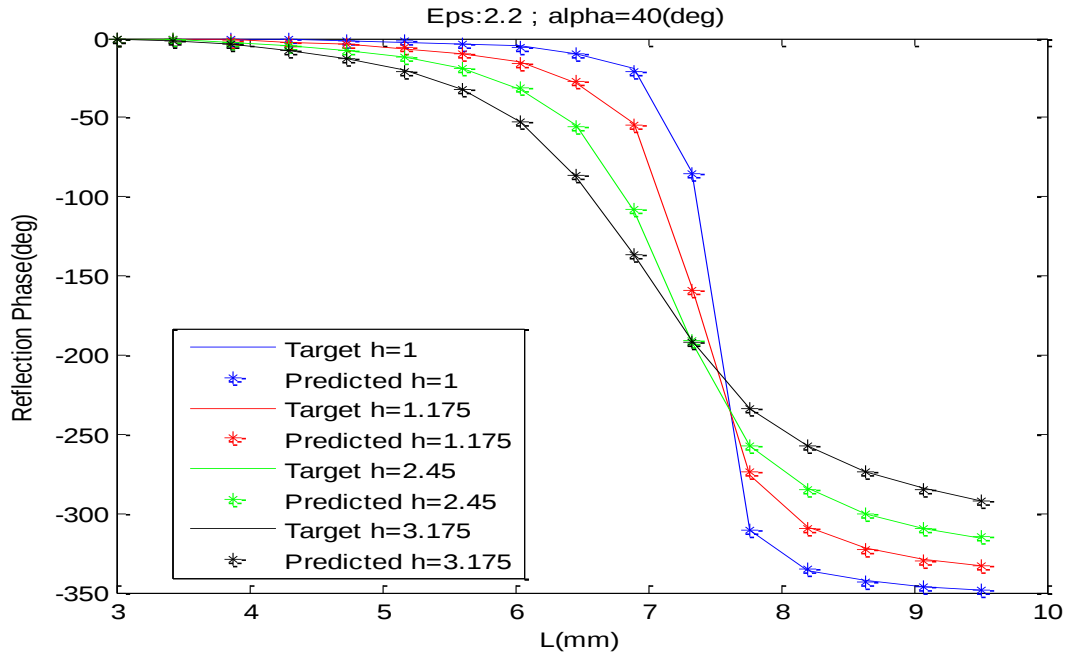
Şekil 6. 25 Maltacross yamanın farklı alfa değerleri için uzunluk(L)başına faz geciktirme değerlerinin yapay sinir ağları modelinden elde edilen verilerle karşılaştırılması



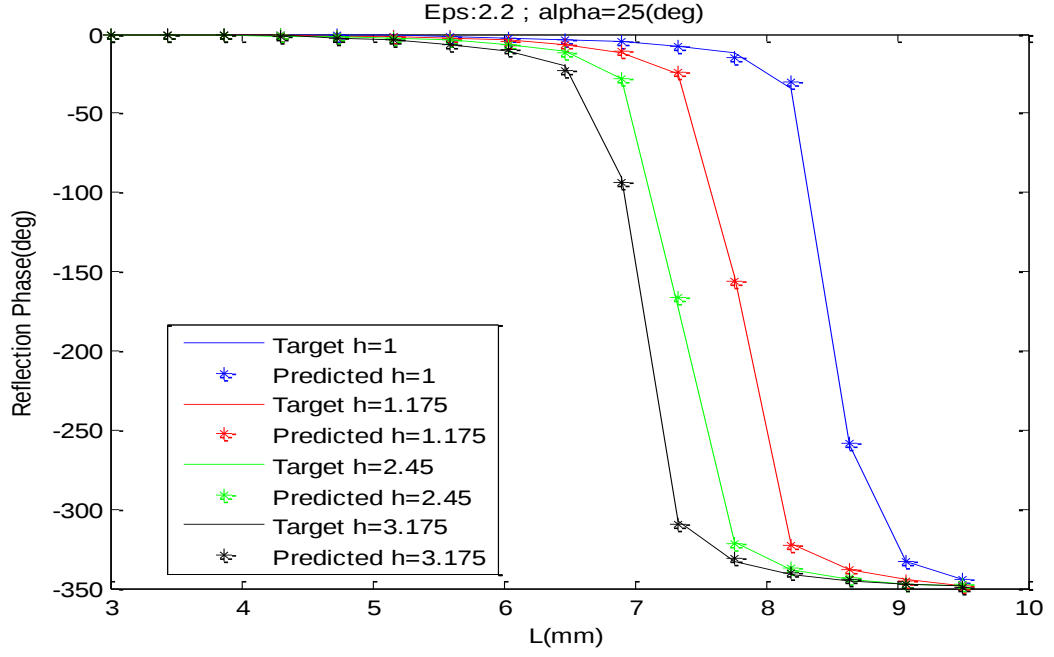
Şekil 6. 26 Maltacross yamanın farklı alfa değerleri için uzunluk(L)başına faz geciktirme değerlerinin yapay sinir ağları modelinden elde edilen verilerle karşılaştırılması



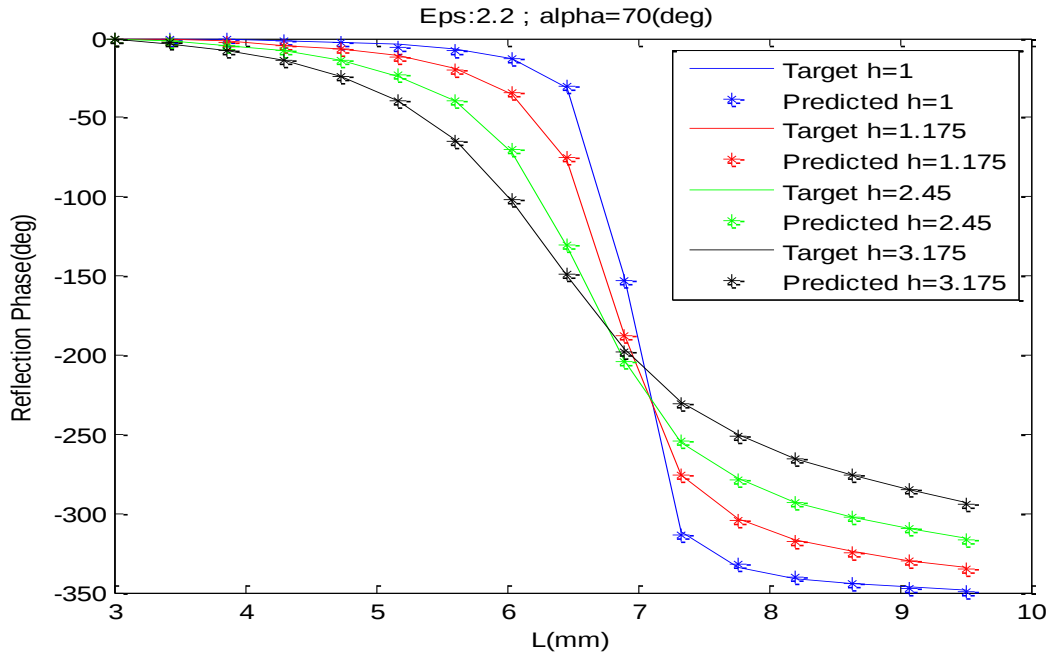
Şekil 6. 27 Maltacross yamanın farklı alfa değerleri için uzunluk(L)başına faz geciktirme değerlerinin yapay sinir ağları modelinden elde edilen verilerle karşılaştırılması



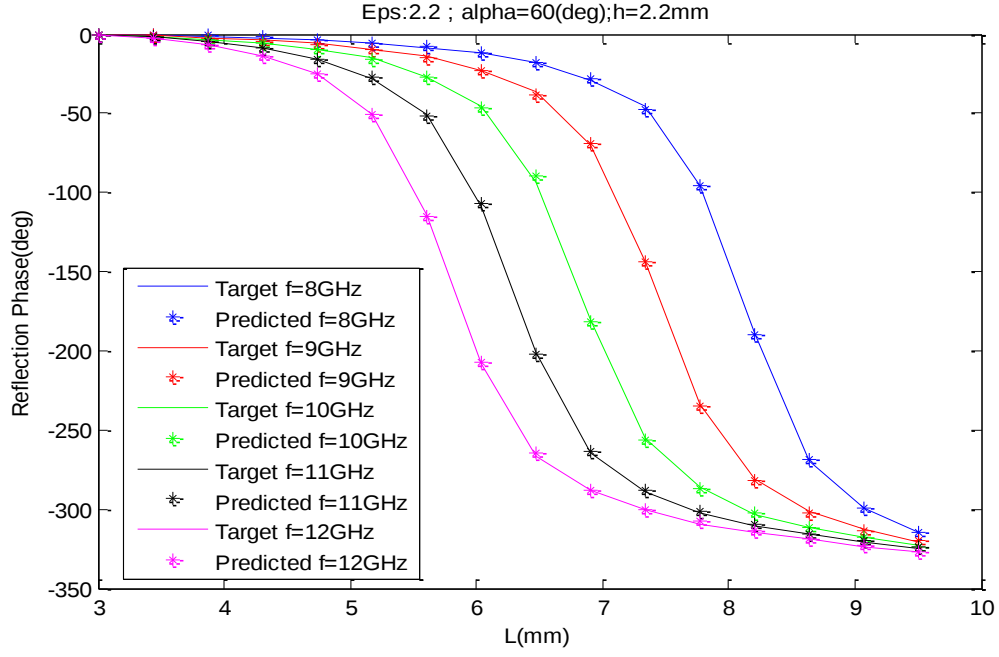
Şekil 6. 28 Maltacross yamanın farklı kalınlıklar için uzunluk (L) başına faz geciktirme değerlerinin yapay sinir ağları modelinden elde edilen verilerle karşılaştırılması



Şekil 6. 29 Maltacross yamanın farklı kalınlıklar için uzunluk (L) başına faz geciktirme değerlerinin yapay sinir ağı modelinden elde edilen verilerle karşılaştırılması



Şekil 6. 30 Maltacross yamanın farklı kalınlıklar için uzunluk (L) başına faz geciktirme değerlerinin yapay sinir ağı modelinden elde edilen verilerle karşılaştırılması



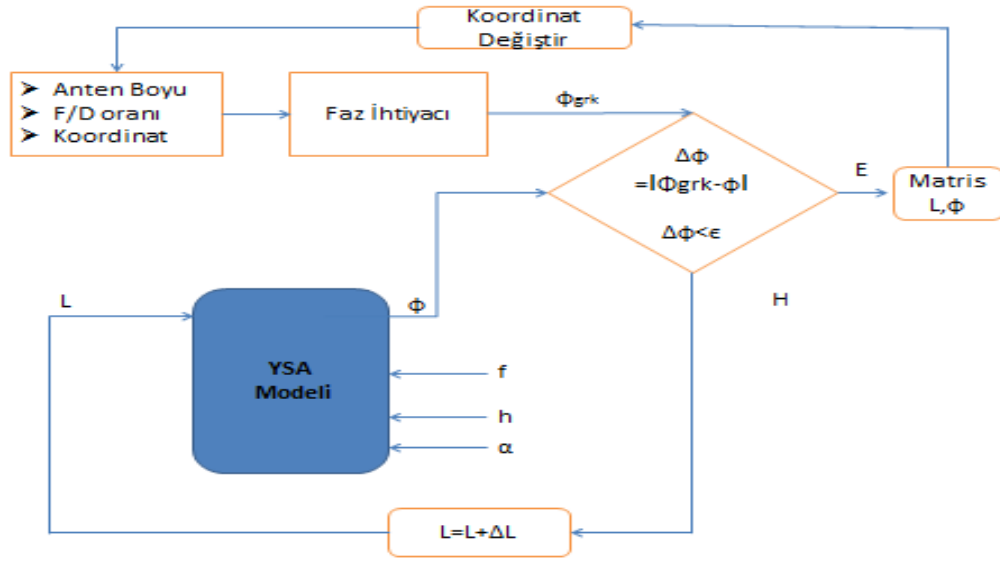
Şekil 6. 31 Maltacross yamanın farklı kalınlıklar için uzunluk (L) başına faz geciktirme değerlerinin yapay sinir ağı modelinden elde edilen verilerle karşılaştırılması

Yukarıdaki şekillerde görüldüğü gibi yapay sinir ağı ile modelleme sayesinde yeterli sayıda simülasyon datası elde ettikten sonra yeni durumlar için simülasyon yapmaya gerek kalmamıştır. Oluşturulan ağ bize %99,9'luk bir doğruluk ile yeni sonuçları vermektedir.

$$\frac{\sum_{i=1}^N (Hedef_i - Tahmin_i)}{\sum_{i=1}^N (Hedef_i)} = \%99,91$$

Buraya kadar genel çözüm için gerekli olan ağ oluşturulmuş ve yüksek bir başarı ile sonuç alınmıştır.

Şimdi ise tasarlanan bir algoritma sayesinde başta bahsedilen sorun çözülmeye çalışılacaktır. Tezimizde tasarlanan algoritma aşağıdaki gibi çalışmaktadır.



Şekil 6. 32 Genel çözüm algoritması

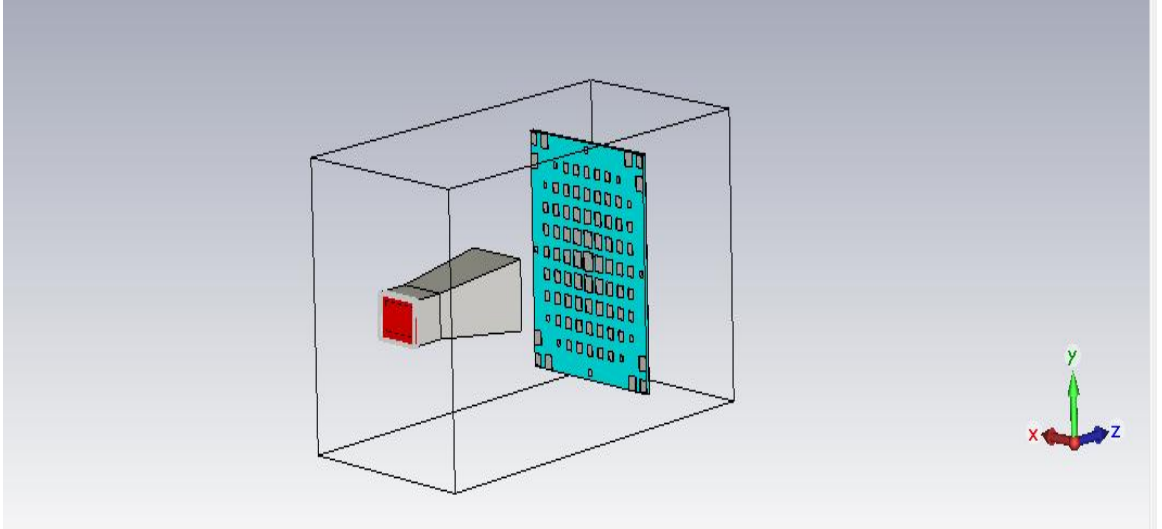
Öncelikle antenin boyu, besleme uzaklığı ve yamanın yerleştirileceği koordinatlar ile faz ihtiyacı tespit edilir. Bu faz ihtiyacı uzunluk olarak bir başlangıç değeri verilen Yapay sinir ağı' na sorulur ve bu ikisi arasındaki fark minimum olana kadar iterasyon yapılır. Bizim tarafımızdan belirlenmiş hassasiyet sağlanana kadar uygun uzunluk tespit edilmeye çalışılır. Uygun uzunluk bulunduğu zaman bu tekrar döngüye sokularak antenin bütün koordinatları bu şekilde taranır ve koordinata göre uzunluk matrisi oluşturulur.

Sonuç olarak bu tezde anten tasarımı iki yöntem ile de gerçekleştirilmiştir. İlk yöntemimiz hızlı ve kolay ancak yerel bir çözüm getirirken ikinci yöntemimiz ise değişen parametrelere uyumlu fakat zaman alan bir genel bir çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır.

BÖLÜM 7

TASARIM SONUÇLARI

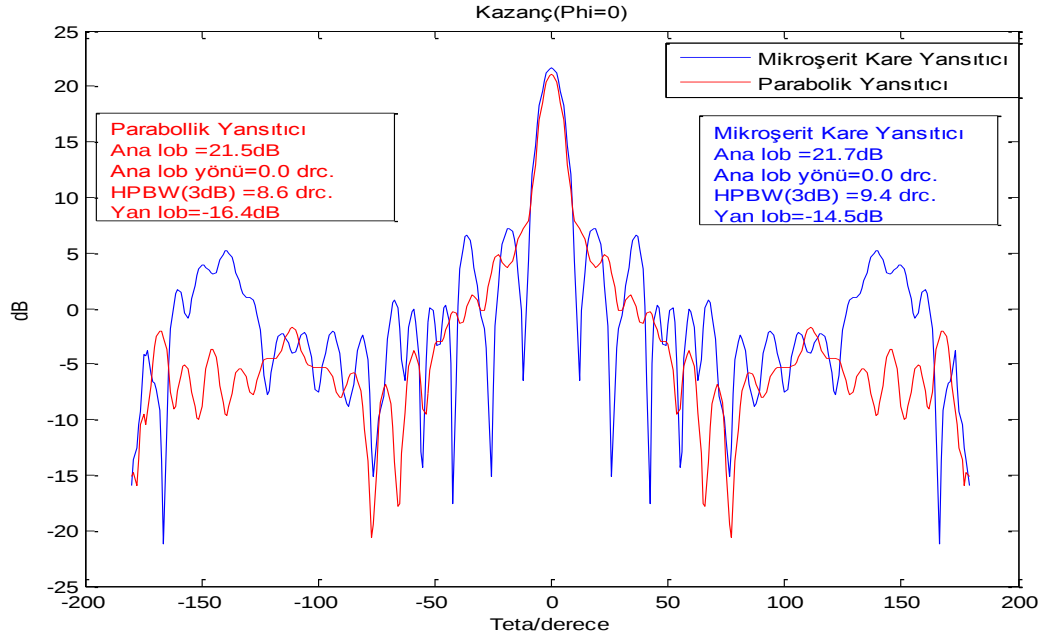
Yapılan bu çalışmada amacımız MYD antenin farklı geometrik şekiller için denenip aralarındaki farkların analiz edilmesini de içermektedir. Aynı zamanda Parabolik Yansıtıcı antene de alternatif olması nedeniyle bulunan sonuçlar Aynı boyutlardaki parabolik Yansıtıcı için karşılaştırması yapılmıştır.



Şekil 7. 1 Kare yamalar ile oluşturulmuş 16 cm uzunluğunda karesel yansıtıcı anten

Aşağıdaki şekilde öncelikle 16 cm lik bir mikroşerit yansıtıcı dizi anten tasarımı gerçekleştirilmiştir. Kullanılan malzemenin epsilon değeri 2.2 yükseklik 3.175 mm dir. Tasarım 10GHz de gerçekleştirilmiş ve kullanıln kare yamalar $\lambda/2$ aralıklar ile dizilmiştir. 11X11 lik bir eleman dizini elde edilmiştir. Eş faz yüzeyi oluşturacak şekilde tasarlanan bu yansıtıcı anten 10 Ghz de verimli bir şekilde çalışan bir besleme anteni ile aydınlatılmıştır. Tasarım için F/D oranı 0.8 olarak seçilmiştir. Kullanılan

malzemenin epsilon değeri 2.2 ve dielektrik kalınlığı 3.175 mm dir. Bu parametreler ile tasarlanan antenin uzak lana paterni, aynı boyuttaki çanak antenin uzak alan performansı ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

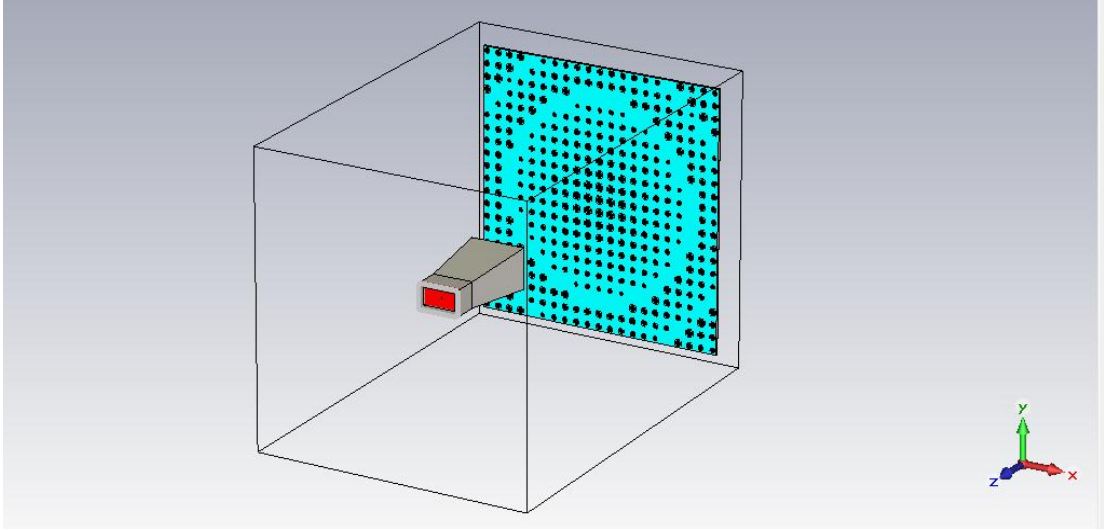


Şekil 7. 2 Yansıtıcı anten ve aynı boyutlardaki parabolik yansıtıcı antenin uzak alana paterninin karşılaştırması

Yukarıdaki şekilde görüldüğü gibi yansıtıcı antenin performansı ana lob kazancı, hüzmeye genişliği ve yan lob seviyeleri bakımından neredeyse çanak antenin performansını yakalamaktadır. Çanak antene göre performans düşüklüğünün sebebi 11X11 lik dizindeki boş bırakılan noktalardır. Boş bırakılan bu noktalar tamamen karenin faz karakteristiği ile alakalıdır. Birim eleman o noktalarda faz ihtiyacının karşılayamıyorsa o noktalar boş geçer. Bu boşluklarda antenin performansını etkilemektedir.

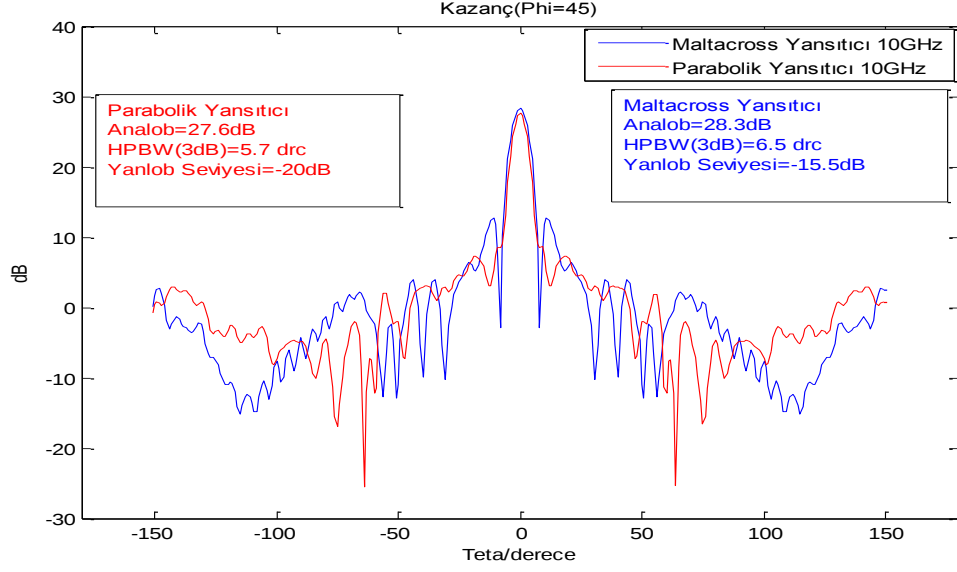
Bizim bu çalışmamızda faz rangenin geniş olmasının istememizin sebeplerinde biride budur. Faz rangi ne kadar geniş olursa antenin üzerinde ki boşluklarda daha az olacaktır. Bu sayede daha iyi bir performans elde edilecektir.

Bu amaçla farklı geometrik şekiller ile tasarımıma devam edildi. Aşağıdaki şekilde daha önceki bölümlerde faz gecikme eğrisi incelenen maltacross yama elemanı kullanılarak 30 cm boyunda karesel bir anten tasarlanmıştır.



Şekil 7. 3 Maltacross yamalar ile oluşturulmuş 30 cm uzunluğunda karesel yansıtıcı anten

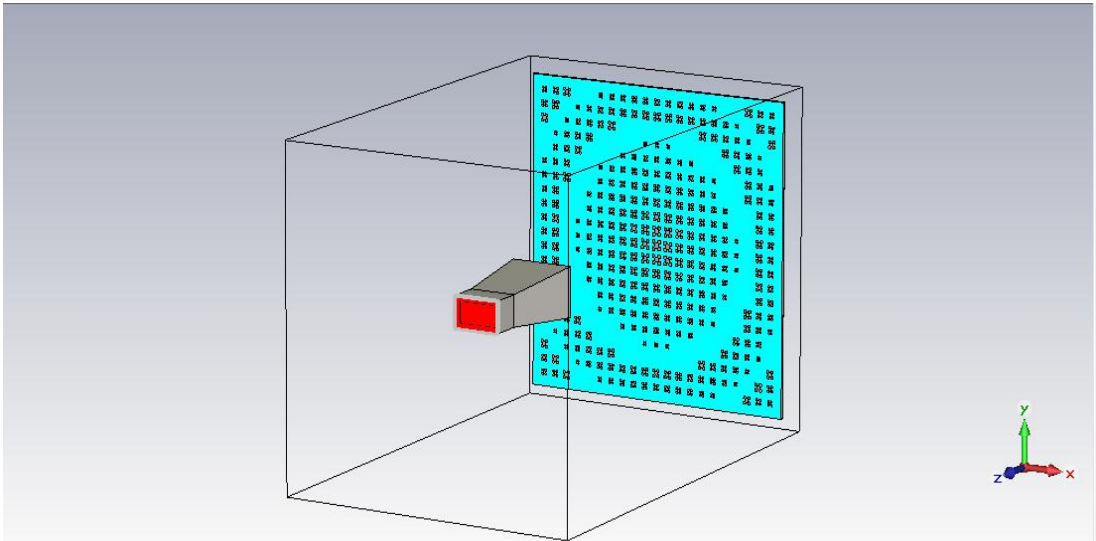
Tasarım 10GHz de gerçekleştirilmiş ve kullanılan maltacross yamalar $\lambda/2$ aralıklar ile dizilmiştir. 21X 21 lik bir eleman dizini elde edilmiştir. Kullanılan malzemenin epsilon değeri 2.2 yükseklik 3.175 mm dir Eş faz yüzeyi oluşturacak şekilde tasarlanan bu yansıtıcı anten 10 Ghz de verimli bir şekilde çalışan bir besleme anteni ile aydınlatılmıştır. Tasarım için F/D oranı 0.8 olarak seçilmiştir. Kullanılan malzemenin epsilon değeri 2.2 ve dielektrik kalınlığı 3.175 mm dir. Bu parametreler ile tasarlanan antenin uzak alan paterni, aynı boyuttaki çanak antenin uzak alan performansı ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Sonuçlar aşağıdaki şekilde gösterildiği gibidir.



Şekil 7. 4 Maltacross yansıtıcı anten ve aynı boyutlardaki parabolik yansıtıcı antenin uzak alana paterninin karşılaştırması

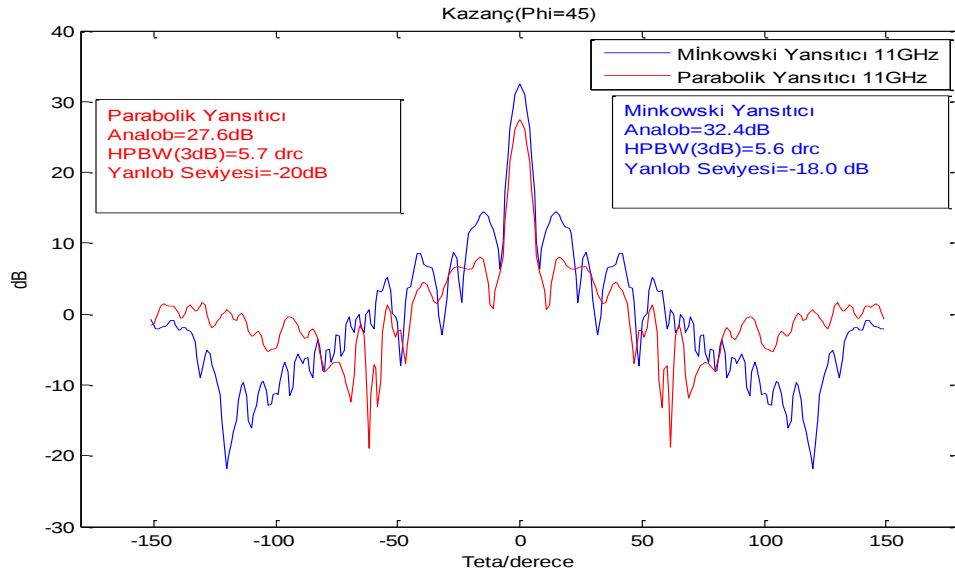
Sonuçları baktığımızda mikroşerit yansıtıcı elaman ile tasarlanan antenin ana lob kazancı çanak antenin performansını geçmiştir. Ancak yan loblardaki seviye istenen seviyede değildir. Literatürde yan lob seviyesi -20 dB olarak kabul görmüştür. Tasarımdaki hatalardan ve boş bırakılan yerlerden kaynaklanan faz hataları yan lob seviyelerini yükseltmiştir.

Aşağıdaki şekilde daha önceki bölümlerde faz gecikme eğrisi incelenen mainkowski yama elemanı kullanılarak 30 cm boyunda karesel bir anten tasarlanmıştır.



Şekil 7. 5 Minkowski yamalar ile oluşturulmuş 30 cm uzunluğunda karesel yansıtıcı anten.

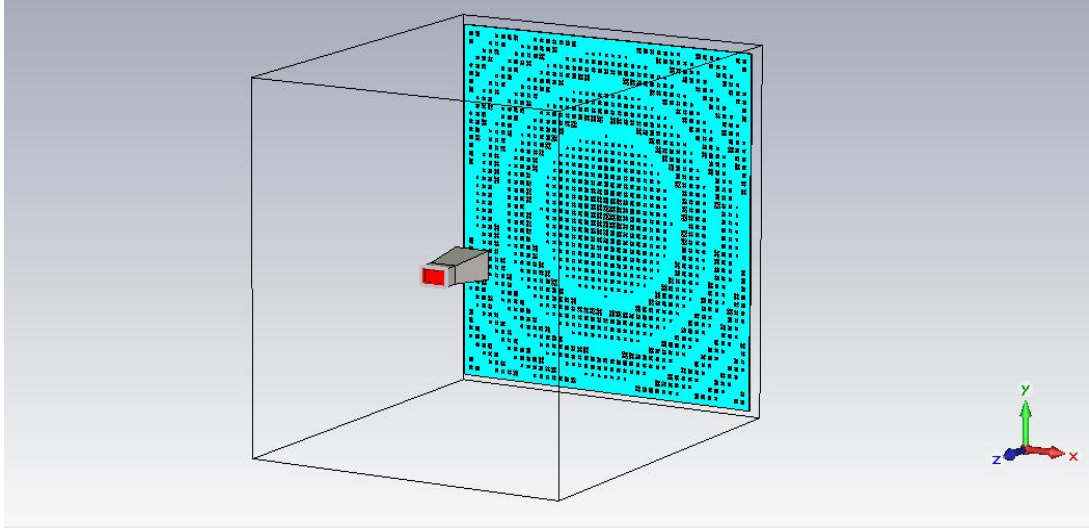
Tasarım 11GHz de gerçekleştirilmiş ve kullanılan minkowski yamalar lamda/2 aralıklar ile dizilmiştir. 21X 21 lik bir eleman dizini elde edilmiştir. Eş faz yüzeyi oluşturacak şekilde tasarlanan bu yansıtıcı anten 11 Ghz de verimli bir şekilde çalışan bir besleme anteni ile aydınlatılmıştır. Tasarım için F/D oranı 0.8 olarak seçilmiştir. Kullanılan malzemenin epsilon değeri 2.2 ve dielektrik kalınlığı 3.175 mm dir. Bu parametreler ile tasarlanan antenin uzak alan paterni, aynı boyuttaki parabolik yansıtıcı antenin uzak alan performansı ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Sonuçlar aşağıdaki Şekil 7.6 da gösterildiği gibidir.



Şekil 7. 6 Minkowski yansıtıcı anten ve aynı boyutlardaki parabolik yansıtıcı antenin uzak alana paterninin karşılaştırması

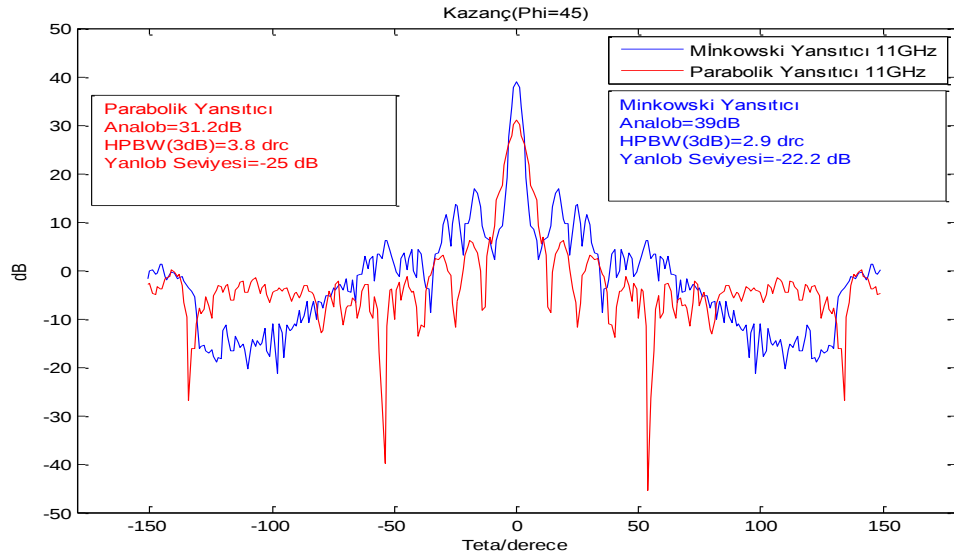
Şimdiye kadar olan bölümlerde 16 cm ve 30 cm lik antenler ile yaptık. Şimdi ise 60 cm boyutlarında tasarlanan antenlerin performansları incelenecek ve aynı zamanda bir frekansta tasarlanan antenin farklı frekanslardaki davranışları incelenecektir. MYD antenin bant genişliği hakkında bir analiz yapma şansı elde edilecektir.

Aşağıdaki şekilde daha önceki bölümlerde faz gecikme eğrisi incelenen minkowski yama elemanı kullanılarak 60cm boyunda karesel bir anten tasarlanmıştır.

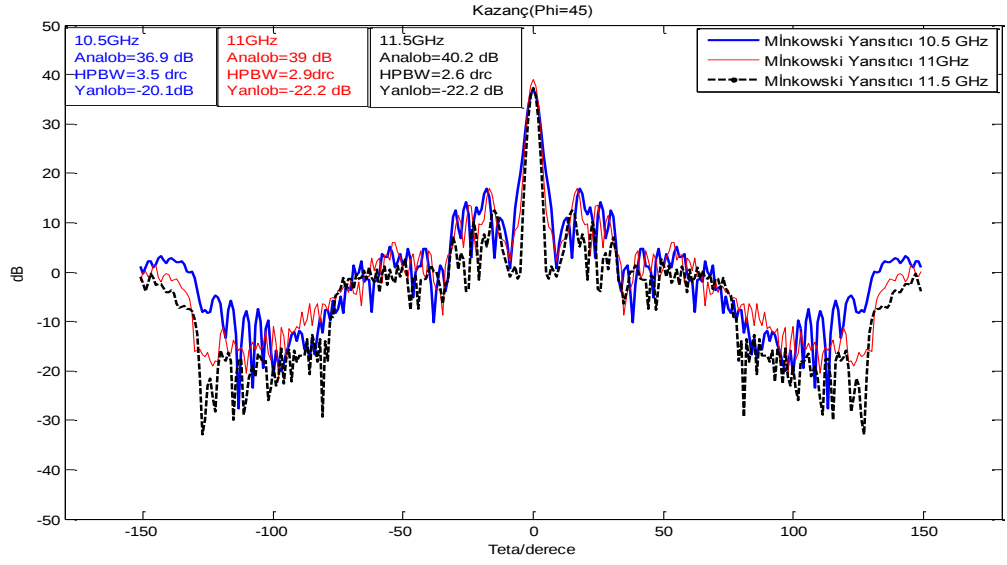


Şekil 7. 7 Minkowski yamalar ile oluşturulmuş 60 cm uzunluğunda karesel yansıtıcı anten

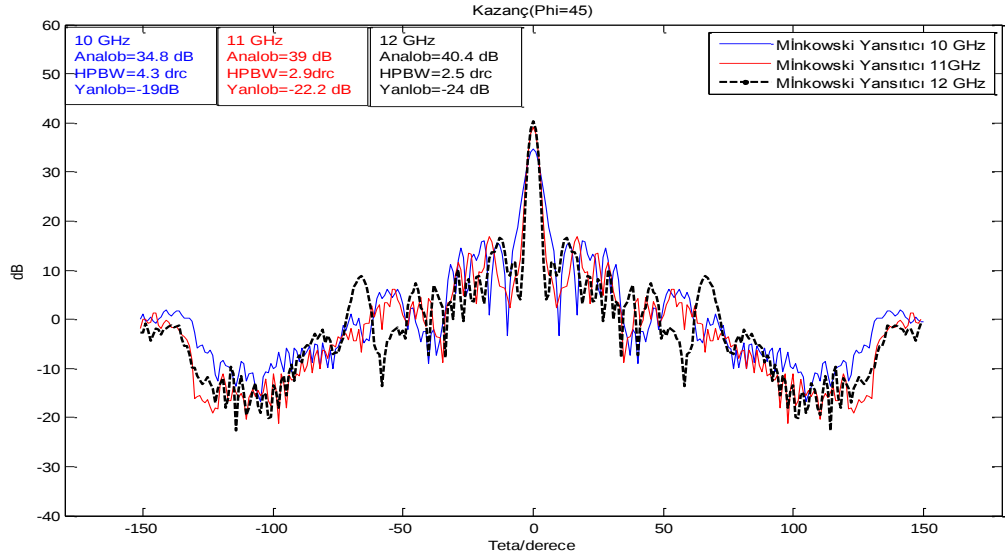
Tasarım 11GHz de gerçekleştirilmiş ve kullanılan minkowski yamalar $\lambda/2$ aralıkları ile dizilmiştir. 43X 43 lük bir eleman dizini elde edilmiştir. Eş faz yüzeyi oluşturacak şekilde tasarlanan bu yansıtıcı anten 11 Ghz de verimli bir şekilde çalışan bir besleme anteni ile aydınlatılmıştır. Tasarım için F/D oranı 0.8 olarak seçilmiştir. Kullanılan malzemenin epsilon değeri 2.2 ve dielektrik kalınlığı 3.175 mm dir. Bu parametreler ile tasarlanan antenin uzak alan paterni,hem parabolik yansıtıcı ile karşılaştırılmış hem de aynı antenin farklı frekanslardaki performansı ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 7. 8 Minkowski yansıtıcı anten ve aynı boyutlardaki parabolik yansıtıcı antenin uzak alan paterninin karşılaştırması



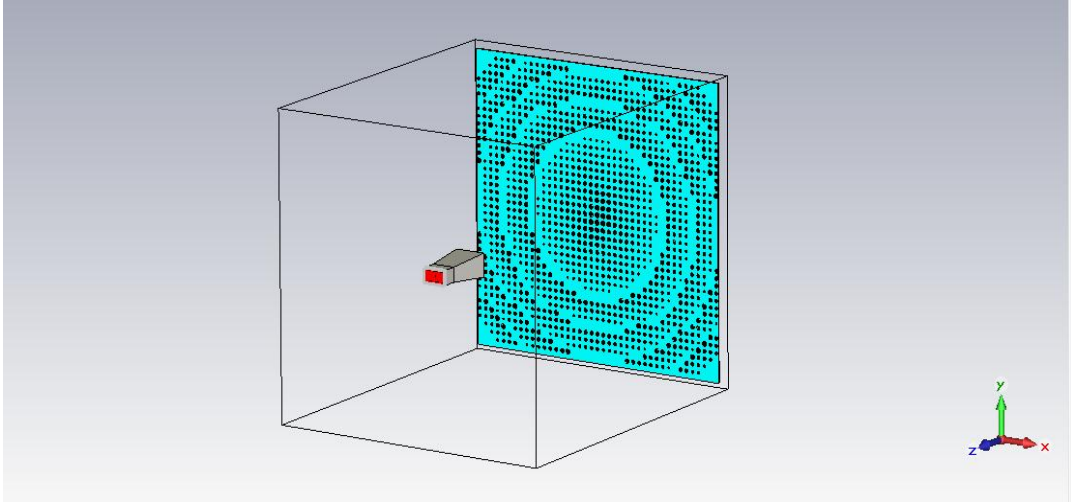
Şekil 7. 9 11GHz de tasarlanan minkowski yansıtıcı 10.5 GHz ve 11.5 GHz rekanslarında performansının karşılaştırması



Şekil 7. 10 Ghz de tasarlanan minkowski yansıtıcı 10GHz ve 12GHz rekanslarında performansının karşılaştırması

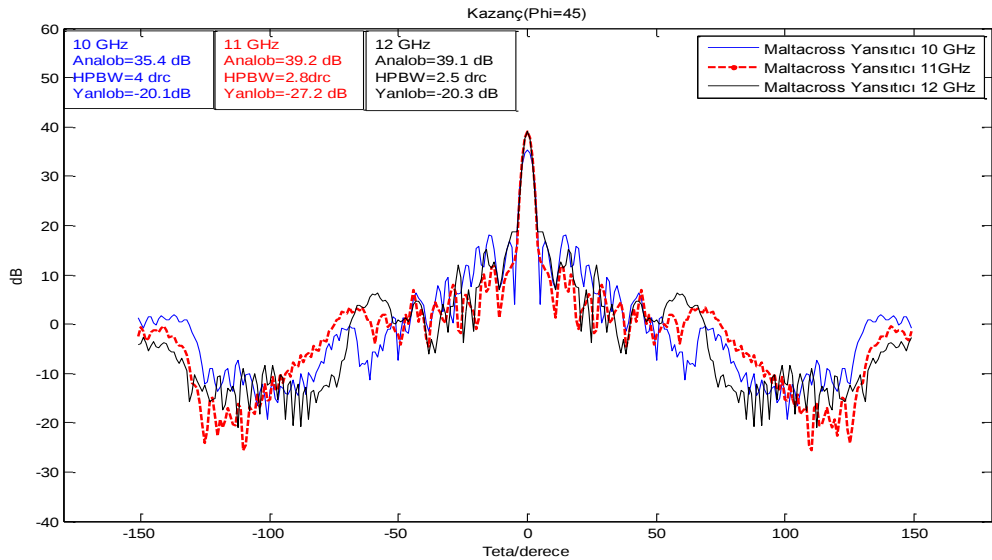
Yukarda ki şekillerde de görüldüğü gibi anteni büyümesi beklenildiği gibi kazanca ciddi bir katkı yapmış ve yan lob seviyelerinde ciddi bir iyileştirme sağlamıştır.

Aşğıdaki şekilde daha önceki bölümlerde faz gecikme eğrisi incelenen maltacross yama elemanı kullanılarak 60cm boyunda karesel bir anten tasarlanmıştır.



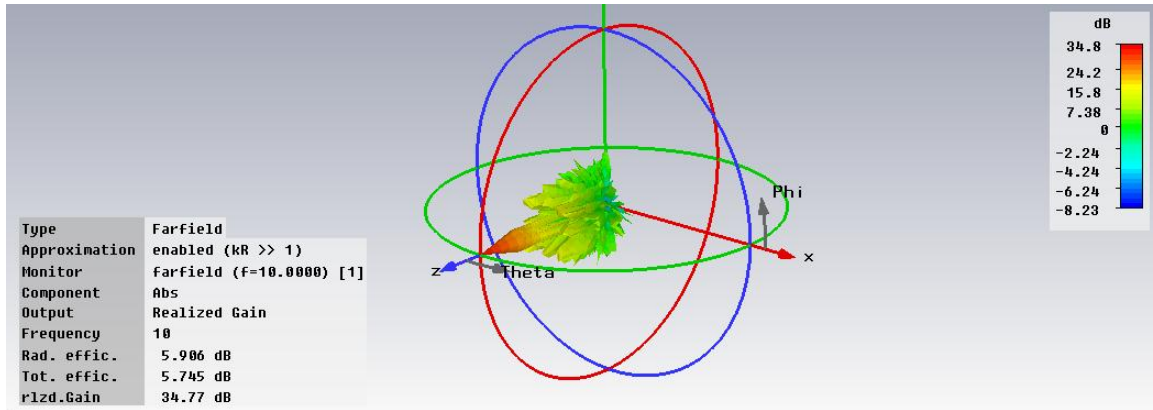
Şekil 7. 11 Maltacross yamalar ile oluşturulmuş 60 cm uzunluğunda karesel yansıtıcı anten.

Tasarım 11GHz de gerçekleştirilmiş ve kullanılan maltacross yamalar $\lambda/2$ aralıkları ile dizilmiştir. Eş faz yüzeyi oluşturacak şekilde tasarlanan bu yansıtıcı anten 11 Ghz de verimli bir şekilde çalışan bir besleme anteni ile aydınlatılmıştır. Tasarım için F/D oranı 0.8 olarak seçilmiştir. Kullanılan malzemenin epsilon değeri 2.2 ve dielektrik kalınlığı 3.175 mm dir. Bu parametreler ile tasarlanan antenin uzak alan paterni, farklı frekanslardaki performansı ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

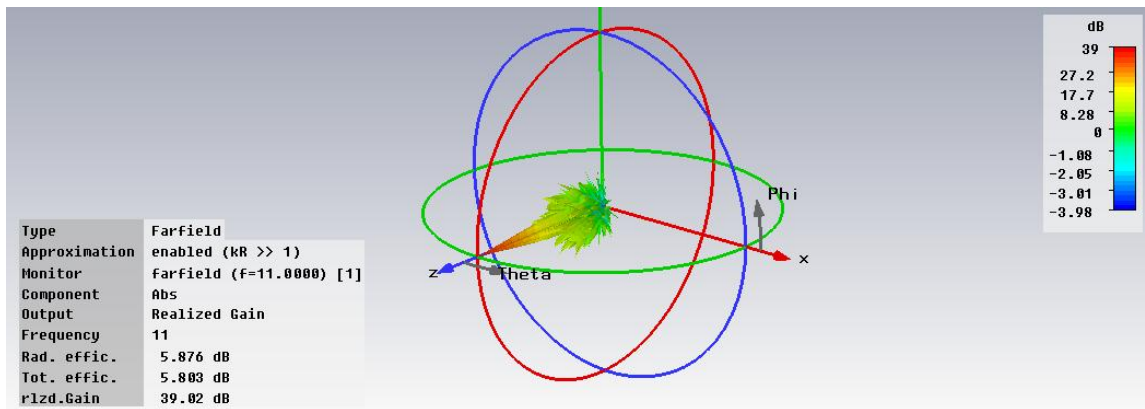


Şekil 7. 12 11Ghz de tasarlanan maltacross yansıtıcı 10GHz ve 12GHz rekanslarında performansının karşılaştırması

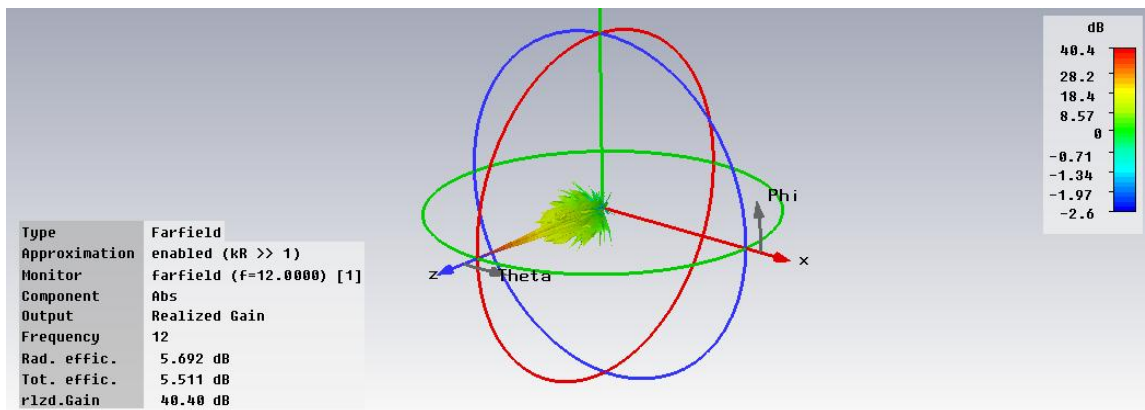
Maltacross yansıtıcı elemanın 3 boyutlu ışıma paterni aşağıdaki şekillerde gösterilmektedir.



Şekil 7. 13 Maltacross yansıtıcı elemanın 10 GHz deki 3 boyutlu ışıma paterni



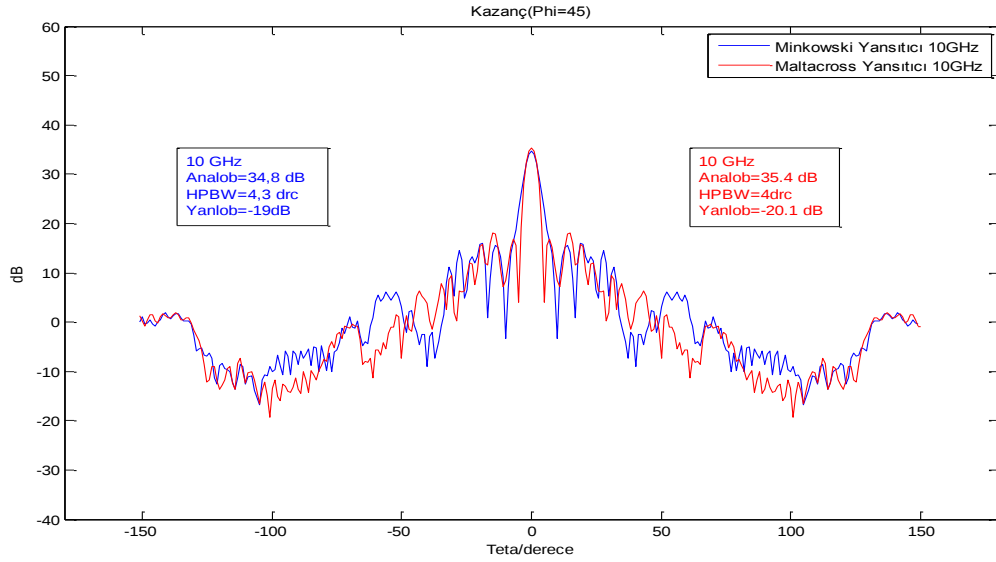
Şekil 7. 14 Maltacross yansıtıcı elemanın 11 GHz deki 3 boyutlu ışıma paterni



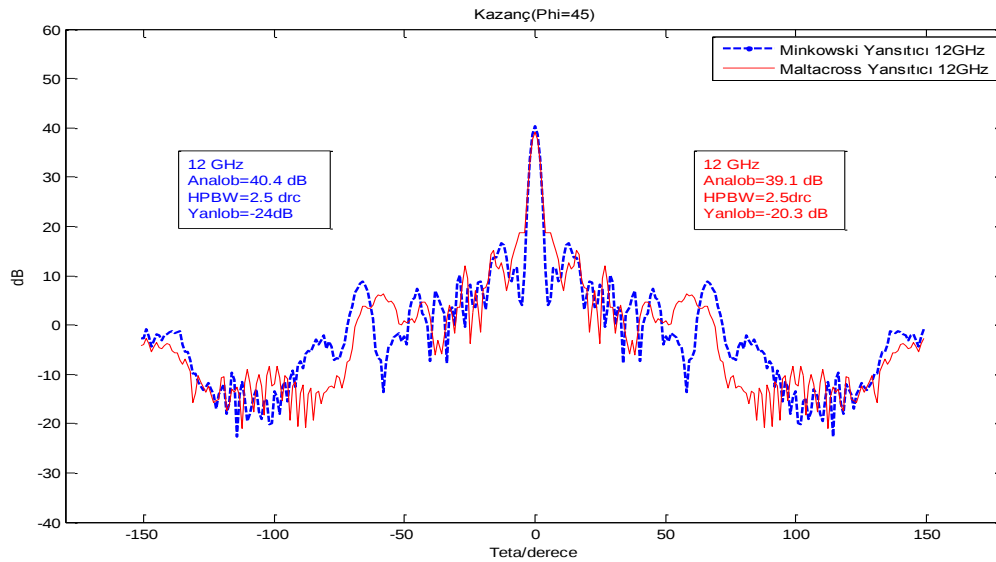
Şekil 7. 15 Maltacross yansıtıcı elemanın 12 GHz deki 3 boyutlu ışıma paterni

Buraya kadar olan bölümde kullanılan birim elemanların bireysel performanslarını yer verilmiştir.

Aşağıdaki şekiller analizler sonucu faz geciktirme eğrisi en iyi performans sergileyen minkowski ve maltacross yansıtıcı elemanların 11GHz de tasarlanmış antenlerin farklı frekanslarda karşılaştırmalı performanslarına yer verilmiştir.



Şekil 7. 16 11Ghz de tasarlanan minkowski ve maltacross yansıtıcı antenlerin 10GHz'deki performans karşılaştırması



Şekil 7. 17 11Ghz de tasarlanan minkowski ve maltacross yansıtıcı antenlerin 12GHz'deki performans karşılaştırması

Daha önceki bölümlerdeki birim elemanların faz geciktirme performanslarına bakıldığında maltacross yansıtıcı elemanın geniş bir range sahip olduğu görülmektedir. Daha geniş range aralığı demek anten tasarımında daha az bölgenin boş geçilmesi demek olduğundan yan lob seviyeleri 11Ghz de çok daha düşük çıkmıştır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tezde MYD antenin literatürdeki yerinden bahsedilmiştir. Ayrıca Mikroşerit Yansıtıcı Dizi anten, parabolik yansıtıcı ve dizi antenin faydalarını birleştirdiği için bu antenler hakkında kısa bir bilgiler verilmiştir. Tasarımda birim hücre modellemesinde YSA kullanıldığı için YSA larda kısaca bahsedilmiştir.

Yapılan bu çalışmada öncelikle tasarımın birim hücrelerini oluşturan mikroşerit yamaların analizi yapılmıştır. Farklı geometrilere sahip mükemmel iletken yamaların faz karakteristiği çıkartılarak bu metal yamaların üstüne konumlandığı dielektrik malzemenin epsilon(ϵ) değeri ve kalınlık değerine göre faz geciktirme karakteristiği incelenmiştir. Faz geciktirme karakteristiği 3 boyutlu CST simülasyon programı aracılığıyla dalga klavuzu similatörü tasarlanmış ve bu similatörün sonucu birim hücre ile sonlandırılmıştır. Bu sayede farklı geometrilerin analizi yapılarak parametre faz geciktirme ilişkisi grafikleri elde edilmiştir. Bu sonuçlar analiz edildiğinde malzemenin dielektrik geçirgenliği(ϵ) ve kalınlığı birim hücrenin faz geciktirme karakteristiği üzerinde ciddi bir etki yaptığı görülmüştür. Birim hücre faz geciktirme yeteneğinden beklenen tek bir parametre değişkenine bağlı olarak faz geciktirme yeteneğinin 360° olabildiğince yakın olamasıdır. Tek parça bir yapının verebileceği maksimum gecikmede 360° dir. İki parçalı ya da çok katmanlı yapılar ile 360° faz ranginin dışına çıkılabilir. Ancak iki parçalı veya çok katmanlı yapıların tasarımın hata toleransına hassasiyeti düşük olduğundan dolayı bu çalışmada tek parçalı yapılar üzerinden devam edildi. Birim hücre faz geciktirme karakteristiğinin iki özelliği tasarımın temelini oluşturmaktadır. Birincisi faz geciktirme ranginin mümkün olduğunca geniş olmasıdır. Geniş olmasındaki amaç tasarımın gerçekleştirilmesi aşamasında daha fazla yama kullanabilmektir. Yama sayılarının fazla olması anten kazancına pozitif etkis vardır.

İkincisi ise faz geciktirme grafiği eğiminin de mümkün olduğunca düşük olmasıdır. Eğiminin düşük olması tasarımın bandının geniş olmasını sağlamasıdır. Yani tasarıma başlanmadan önce uygun geometri seçilmeli ve seçilen bu geometri için uygun dielektrik malzeme ve uygun malzeme kalınlığına karar verilmelidir.

Bu tez kapsamında kare, daire, kare halka, daire halka, içiçe kare halka içiçe daire halka, maltacross, minkowski şekillerinin ayrı ayrı faz geciktirme karakteristikleri çıkartılmış ve farklı malzeme ve farklı kalınlıklar için faz geciktirme eğrileri incelenmiştir.

Tez kapsamında kare ve karenin kombinasyonları olması nedeniyle maltacross ve minkowski yamalar kullanılarak MYD anten tasarlanmıştır.

Tasarım da önemli bir aşama birim hücre faz geciktirme karakteristiğinin simülasyon programına gerek kalmadan modellenmesidir. Bu modelleme de literatürde aşılımaya çalışılan bir sorundur. Bu modelleme sayesinde uzun simülasyonlar yerine hızlı bir şekilde faz geciktirme karakteristiğinin çıkartılması istenmektedir. Tezimizde bu modelleme YSA'larının fonksiyonları kullanılarak yapıldı. Tasarımda 3 katmanlı bir yapı tasarlandı. Bu modelleme sayesinde simülasyon yapmaya gerek kalmadan %99.9 doğruluk oranında grafikler elde edilmiştir.

Tasarımın bir diğer aşamasında faz ihtiyacının tesbiti problemi aşılımaya çalışılmış ve kaynaktan gelen küresel dalganın düzlemsel bir dalgaya dönüştürülmesi için ihtiyaç olan faz gecikme ihtiyacını tebiti için küresel yaklaşım yapılmıştır. Bu yaklaşım sayesinde her bir koordinat için faz ihtiyaçları formülize edilmiş ve ihtiyaç hasaplanmıştır.

Tasarımın son aşamasında ise hesaplanan faz gecikme ihtiyacının uygun faz geciktirme elemanı ile karşılanmasıdır. Tasarımın bu noktasında YSA'ları ile modellediğimiz birim hücre devreye girmektedir. Bu modelleme sayesinde hesaplanan faz ihtiyacı YSA'na giriş olarak verilmiş ve uygun yama parametresi çıkışta elde edilmiştir. Bu tasarlanan algoritma sayesinde istenen anten parametreleri(Anten boyu" D ",Besleme uzaklığı" F ") ile saniyeler içinde uygun yama parametresi matrisi elde edilmiş olmaktadır.

Tezimizde yukarıdaki aşamalar dikkate alınarak farklı uzunlıklarda karesel antenler tasarlanmıştır. Bu karesel antenlerde kare, maltacross ve minkowski yamalar kullanılmıştır. Tasarlanan bu antenlerin performansları aynı boyutlardaki parabolik yansıtıcı ile karşılaştırılmış büyük oranda performanslarının(Analob kazancı, yan lob

seviyesi, HPBW) yakın olduğu gözlemlenmiştir. MYD antenin boyutu büyüdükçe performansının parabolik yansıtıcı antenin performansından daha iyi olduğu gözlemlenmiştir.

X-bant frekanslarından biri için tasarlanan anten yapılarının aynı banttaki farklı frekanslar için patern grafikleri üretilmiş ve karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Uygun geometrilerin kullanılması ve uygun anten parametreleri kullanılması durumunda antenin farklı frekanslardaki paternlerinin genel karakteristiğini koruduğu görülmüştür.

MYD anten tasarımında antenin bant genişliği performansının analiz edilebilmesi büyük zorluklar getirmektedir. Çünkü anteni parametrelerinin(D,F),geometrilerinin veya frekansın değişmesi durumunda bütün tasarımın tekrardan yapılması gerekmektedir.Bu tezde yapılan modellerle sayesinde her ne kadar uygun yama parametre matrisi saniyeler içinde elde edilse de elimizde yüzlerce uygun parametrelili yama elamanı, 3 boyutlu simülasyon programında MYD anten üzerine dizilmeyi beklemektedir. Bu ise zor ve yorucu bir iştir. Bunun yerine daha pratik yolların araştırılması bu tezin devamında yapılabilecek bir çalışmadır. Bunu için kullanılacak yöntemlerden birisi elde edilen uygun yama parametre matrisi dizi anten gibi düşünülüp arrayteory aracılığıyla yaklaşık bir kazanç grafiği elde edilebilir. Tabi bunun da önünde herbir yamanın genliğinin belirlenmesi gibi bir zorluk vardır. Bu zorluk aşılabılır ise MYD antenin paterninin saniyeler içinde herhangi bir simülasyon programına ihtiyaç duymadan tesbit edilmesi ve optimizasyonunun yapılmasının önü açılmış olacaktır.

MYD tasarımında önemli bir çalışma alanıda offset beslemeli yapılar veya hüzmeye yönünün değiştirilmesidir. Daha sonraki çalışmalarda bu konular yaptığımız çalışmanın devamı niteliğinde olabilir. Ayrıca tasarımda kullanılan faz ihtiyacının tesbit edilmesi konusunda da biz küresel bir yaklaşım yapmayı kabul etmiştik. Yeni bir çalışma alanı ise bu yaklaşımın parabolik yaklaşımla karşılaştırması niteliğinde olabilir. Yani beslem antenin beslemsinden çıkan elektromanyetik dalganın eş faz yüzeyinin parabolik bir dağılım yaptığı varsayılarak matematiksel formüller buna göre şekillendirilebilir.

Kısacası MYD anten tasarımı ile ilgili yurt dışında yapılan çalışmalar bir hayli olsa da ülkemizde bu alanda yapılan çalışmalar oldukça azdır. Tezimizde kapsamında yapılan çalışmalar ile ülkemizde yapılacak diğer çalışmalar için yönlendirici bir kaynak olduğunu umuyoruz.

KAYNAKLAR

- [1] Berry, G.D., 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,Chicago.
- [5] Phelan, H.R., (1977). “Spiralphase Reflectarray for Multitarget Radar”, Microwave Journal, 20: 67–73.
- [6] Zubir, F., Rahim M.K.A., 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] Tahir,F.A., (2011). Electromagnetic Modeling of Microstrip Reflectarrays using Scale Changing Technique, Doktora Tezi, Institut National Polytechnique de Toulouse.
- [8] Radar Tutorial, Dizi Antenler, www.radartutorial.com, 10 Temmuz 2012.
- [9] Türetken, B., Başaran, E., Gürcan M.E., Akkaya, E., Yayıl, F., Radar Antenleri-II: Yansıtıcı antenler, <http://www.uekae.tubitak.gov.tr>, 10 Haziran 2012.
- [10] Wikipedia, Yapay sinir ağları, tr. wikipedia.org,10 Temmuz 2012.
- [11] Bialkowski, M. E. ve Sayidmarie, K. H., (2008). “Bandwidth considerations for a microstrip reflectarray”, Progress In Electromagnetics Research B, 3:173–187.
- [12] Bialkowski,M.E. ve Sayidmarie,K.H.,(2008). “Investigations Into Phase Characteristics of a Single-Layer Reflectarray Employing Patch or Ring Elements of Variable Size”, IEEE Transact. Antennas and Propagation, 56: 3366-3372.
- [13] Nesil, S., Güneş, F., Özkaya,U. ve Türetken, B., (2011). “Generalized Regression Neural Network – based Phase Characterization of a Reflectarray Employing Minkowski Elements of Variable Size”,Istanbul.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Gökhan KAYA
Doğum Tarihi ve Yeri : 30.04.1986 – ADANA
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : gkhncy86@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Elektronik ve Haberleşme Müh.	Yıldız Teknik Üniversitesi	2010
Lise	Fen Bilimleri	Seyhan Çağrı Bey Lisesi	2004

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Kurum	Görevi
2010 – 2012	Yıldız Teknik Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2012–	TÜBİTAK BİLGEM	Araştırmacı