

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**MİKROŞERİT YANSITICI DİZİ ANTEN TASARIMI VE
UYGULAMALARI**

HANDE BODUR

KOCAELİ 2017

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ


MİKROŞERİT YANSITICI DİZİ ANTEN TASARIMI VE
UYGULAMALARI

HANDE BODUR

Doç.Dr. Sibel ÇİMEN
Danışman, Kocaeli Üniv.

Doç.Dr. Gonca ÇAKIR
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.

Yrd.Doç.Dr. Muhammet Hilmi NİŞANCI
Jüri Üyesi, Sakarya Üniv.


.....

.....

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 19.06.2017

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez kapsamında mikroşerit yansıtıcı dizi anten tasarımları yapıp ayrıca uygulamalarına yer verilmiştir. Ülkemizde bu konudaki araştırmaların azlığı nedeniyle bu tez çalışmasının bu konuda çalışacak araştırmacılara faydalı olmasını temenni ederim.

Bu konuda bana çalışma fırsatı veren, beni destekleyen ve bana çalışmalarımın her aşamasında yardımcı olan değerli hocam sayın Doç. Dr. Sibel Çimen'e, bilgi ve tecrübesiyle her zaman yanımda olan hocamız sayın Doç. Dr. Gonca Çakır'a, çalışmalarımızı beraber yürüttüğümüz sevgili arkadaşım Arş. Gör. Sibel Ünal'dı' ya ve hayatım boyunca beni destekleyen ve yanımda olan sevgili aileme teşekkür ederim.

Ayrıca bu tez çalışması, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) 114E500 no' lu projesinin bir parçası olarak desteklendiği için teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs-2017

Hande BODUR

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iii
TABLolar DİZİNİ	v
SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR	vi
ÖZET	vii
ABSTRACT	viii
GİRİŞ	1
1. YANSITICI DİZİ ANTENLER	3
1.1. Yansıtıcı Dizi Antenlerin Tarihsel Gelişimi	4
1.2. Yansıtıcı Dizi Antenlerde Bant Genişletme Teknikleri	6
1.3. Genel Dizi Teorisi	10
1.3.1. Anten dizileri kavramı	10
1.3.2. Doğrusal anten dizileri	11
1.3.3. Düzlemsel anten dizileri	12
1.3.4. Dizi antenlerde faz kayması	13
2. YANSITICI DİZİ ANTEN TASARIMI	15
2.1. Birim Eleman Tasarımı	16
2.2. Kare Açıklık ve Artı Geometrilik Birim Eleman Tasarımı	18
2.3. Dairesel Eşlenik Baklava Geometrilik Birim Eleman Tasarımı	19
2.4. Açıklık Halka ve Çarpı Geometrilik Birim Eleman Tasarımı	21
2.5. İç İçe Kesik Ring Geometrilik Birim Eleman Tasarımı	23
2.6. Çift Eşlenik Baklava Yama Geometrilik Birim Eleman Tasarımı	24
2.7. Çift Dairesel Halka Geometrilik Birim Eleman Tasarımı	25
2.8. Dairesel Yama ve Eşlenik Baklava Geometrilik Birim Eleman Tasarımı	27
3. DEĞİŞKEN BOYUTLU BİRİM HÜCRELER İLE YDA TASARIMI	30
3.1. Kare Açıklık ve Artı Geometrilik YDA Tasarımı	31
3.2. Dairesel Eşlenik Baklava Geometrilik YDA Tasarımı	34
4. BULGULAR	37
4.1. YDA Tasarımları, Analizleri ve Ölçümleri	37
4.1.1. İç içe kesik ring geometrilik YDA tasarımı	39
4.1.2. Çift eşlenik baklava yama geometrilik YDA tasarımı	40
4.1.3. Çift dairelik halka geometrilik YDA tasarımı	43
4.1.4. Dairesel yama ve eşlenik baklava geometrilik YDA tasarımı	45
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	48
KAYNAKLAR	50
KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER	53
ÖZGEÇMİŞ	54

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Dalga kılavuzu modellenli yansıtıcı dizi anten.....	5
Şekil 1.2.	Merkezi olarak anahtarlama diyotlu, yansıtıcı antenin dört kollu spiral modeli	5
Şekil 1.3.	Mikroşerit yamalarla oluşturulmuş yansıtıcı dizi anten modeli	6
Şekil 1.4.	Mikroşerit YDA geometrisi	7
Şekil 1.5.	Parabolik anten ve YDA'nın eş faz düzlemi oluşturması.....	8
Şekil 1.6.	(a) Değişken yama boyutlu iki katmanlı yapı, (b) Faz değişim grafiği ($a_1=b_1$, $a_2=b_2$, $p_x=p_y=14$ mm, $t_1=t_2=3$ mm, $\epsilon_r=1,05$, $a_1=0.7 \times a_2$)	9
Şekil 1.7.	x-ekseni boyunca doğrusal anten dizisi	11
Şekil 1.8.	y-ekseni boyunca doğrusal anten dizisi	12
Şekil 1.9.	z-ekseni boyunca doğrusal anten dizisi.....	12
Şekil 1.10.	z-ekseni boyunca doğrusal anten dizisi.....	13
Şekil 1.11.	Faz kaymasının oluşması	13
Şekil 1.12.	Ana lobu yönlendirilmiş dizi antenin ışınma örüntüleri.....	14
Şekil 2.1.	(a) Parabolik anten geometrisi ve (b) Tipik bir mikroşerit YDA geometrisi.	15
Şekil 2.2.	Sonsuz dizi yaklaşımı modeli.	17
Şekil 2.3.	Dalga kılavuzu modeli.	17
Şekil 2.4.	(a) Kare açıklık döngü birim hücre, (b) $f=9-12$ GHz aralığındaki frekanslar için faz değişim grafiği.	19
Şekil 2.5.	(a) Dairesel eşlenik baklava birim hücre, (b) $f=9-12$ GHz aralığındaki frekanslar için faz değişim grafiği.	20
Şekil 2.6.	(a) açıklık halka ve çarpı birim hücre, (b) $f=9,5$ GHz' deki faz değişim grafiği.	22
Şekil 2.7.	$f=9,5$ GHz' de farklı dielektrik kalınlıklarında faz değişim grafiği.....	22
Şekil 2.8.	Birim hücre geometrisi.	23
Şekil 2.9.	(a) $f=10$ GHz' de D_1 parametresine bağlı faz değişimi, (b) $f=9$ GHz - 12 GHz aralığında faz değişimi.	24
Şekil 2.10.	(a) Birim hücre geometrisi, (b) $f=9-12$ GHz aralığındaki frekanslar için faz değişim grafiği.	25
Şekil 2.11.	Birim hücre geometrisi.	26
Şekil 2.12.	(a) $f=10$ GHz' de R_1 parametresine bağlı faz değişimi, (b) $f=9$ GHz - 12 GHz aralığında faz değişimi.	26
Şekil 2.13.	Birim hücre geometrisi.	27
Şekil 2.14.	(a) "s", (b) "t" parametrelerinin $f=10$ GHz' de faz değişimi üzerindeki etkileri.	28

Şekil 2.15. $f=9$ GHz - 12 GHz aralığında faz değişimi.....	29
Şekil 3.1. YDA çalışma mekanizması.	30
Şekil 3.2. Yansıtıcı dizi antendeki her birim elemanın faz değeri.	32
Şekil 3.3. Horn anten boyutları ve $f=10$ GHz için ışınma örüntüleri.	32
Şekil 3.4. (a) Horn anten ile beslenen YDA, (b) $f=11$ GHz' de E-düzlemi ($\phi=90^\circ$) ve H-düzlemi ($\phi=0^\circ$) ışınma örüntüleri.	33
Şekil 3.5. Tasarlanan YDA'ya ait frekansa göre kazanç grafiği.....	34
Şekil 3.6. (a) Horn anten ile beslenen YDA, (b) $f=10,7$ GHz' de E-düzlemi ($\phi=90^\circ$) ve H-düzlemi ($\phi=0^\circ$) ışınma örüntüleri.	35
Şekil 3.7. Tasarlanan YDA' ya ait frekansa göre kazanç grafiği.....	35
Şekil 4.1. Piramidal horn anten ve ölçüm düzeneği.....	37
Şekil 4.2. Piramidal horn antenin E-ve H-düzlemindeki normalize ışınma örüntüleri.	38
Şekil 4.3. Ölçüm ve benzetim ile elde edilen frekansa göre kazanç grafiği.....	39
Şekil 4.4. Tasarlanan YDA yapısı ve ölçüm düzeneği.....	39
Şekil 4.5. Ölçüm ve benzetim ile elde edilen H-düzlemindeki ($\phi=0^\circ$) ışınma örüntüleri ($f=10,5$ GHz ve $f=11,5$ GHz).	40
Şekil 4.6. Ölçüm ve benzetim ile elde edilen frekansa göre kazanç değişimi.....	40
Şekil 4.7. Yansıtıcı dizi antendeki her birim hücrenin faz değeri.....	41
Şekil 4.8. Tasarlanan YDA yapısı ve ölçüm düzeneği.....	41
Şekil 4.9. $f=8, 10$ ve $f=12$ GHz' de H-düzlemi ($\phi=0^\circ$) ışınma örüntüleri benzetim ve ölçüm grafikleri.	42
Şekil 4.10. Ölçüm ve benzetim ile elde edilen frekansa göre kazanç grafiği.....	42
Şekil 4.11. YDA ve yansımatsız odada ölçüm düzeneği fotoğrafı.	43
Şekil 4.12. $f=10$ GHz, $f=11$ GHz ve $f=12$ GHz' de E-düzlemi ($\phi=90^\circ$) ışınma örüntüleri benzetim ve ölçüm grafikleri.....	44
Şekil 4.13. Ölçüm ve benzetim ile elde edilen frekansa göre kazanç grafiği.....	44
Şekil 4.14. Üretimi yapılan YDA ve ölçüm düzeneğine ait fotoğraf.....	46
Şekil 4.15. Ölçüm ve benzetim ile elde edilen E-düzlemindeki ($\phi=90^\circ$) ışınma örüntüleri ($f=8$ GHz, $f=10$ GHz ve $f=12$ GHz).	46
Şekil 4.16. Ölçüm ve benzetim ile elde edilen frekansa göre kazanç değişimi.....	47

TABLolar DİZİNİ

Tablo 2.1. Kare açıklık ve artı geometrili birim elemana ait parametreler	18
Tablo 2.2. Dairesel eşlenik baklava geometrili birim elemana ait parametreler.....	20
Tablo 2.3. İç içe kesik ring geometrili birim elemana ait parametreler	23



SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR

h	: Yalıtkan tabakanın kalınlığı
λ	: Dalga boyu
f	: Dalga frekansı
E	: Elektrik alan, (volt/metre)
H	: Manyetik alan, (amper/metre)
ϵ_r	: Bağıl dielektrik sabiti
k_0	: Serbest uzay yayılma sabiti
dB	: Desibel
φ	: Faz açısı
φ_0	: x ekseninin yz düzlemi ile yaptığı açı
θ_0	: z ekseninin xy düzlemi ile yaptığı açı

Kısaltmalar

EM	: Elektromanyetik
PEC	: Perfect Electric Conductor (Mükemmel Elektrik İletken)
PMC	: Perfect Magnetic Conductor (Mükemmel Manyetik İletken)
YDA	: Yansıtıcı Dizi Anten

MİKROŞERİT YANSITICI DİZİ ANTEN TASARIMI VE UYGULAMALARI

ÖZET

Çoğu radar ve uzun mesafe haberleşme sistemleri için, yüksek-kazançlı antenler kaçınılmaz bir ihtiyaçtır. Geleneksel olarak, yüksek-kazanç gerektiren uygulamalarda parabolik yansıtıcılar kullanılmaktadır. Ancak, parabolik yansıtıcıların imalatı özellikle yüksek mikrodalga frekanslarına çıkıldığında zorlaşmaktadır. Bununla birlikte, ana hüzmeye yönlendirme işlemi de hantal ve eğrisel yapısı nedeniyle ancak mekanik olarak yapılabilmektedir. Bu nedenle son yıllarda yapılan çalışmalarda mikroşerit yansıtıcı dizi anten tasarımları parabolik yansıtıcı antenlere göre cazip bir alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu tip antenler, hafif yansıtma profilli, az hacimli, düşük-maliyetli, üretiminin kolay olması ve elektronik-hüzmeye yönlendirilebilme yeteneği gibi avantajlara sahiptirler.

Mikroşerit yansıtıcı dizi antenlerin temel problemi dar bantlı olmaları söylenebilir. Çalışmalarımızda bu problem uygun mikroşerit yansıtıcı dizi anten tasarımlarıyla giderilmeye çalışılmıştır.

Bu tezin temel hedefi mikroşerit yansıtıcı dizi antenleri tanıtmak, özgün mikroşerit yansıtıcı dizi anten tasarımları yapmak ve tasarımları pratik olarak gerçekleyip ölçüm sonuçlarını değerlendirmektir. Bu kapsamda tasarımların analizlerini yapmak üzere CST Microwave Studio paket programı kullanılmıştır. Ölçümler ise Kocaeli Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği, Mikrodalga ve Anten Laboratuvarında bulunan tam yansıtıcı odada alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Birim Eleman Tasarımı, Geniş Bant Yansıtıcı Dizi Anten Tasarımı, Mikroşerit Yansıtıcı Dizi Antenler.

MICROSTRIP REFLECTARRAY ANTENNA DESIGN AND APPLICATIONS

ABSTRACT

For most radar and long distance communication systems, the need for high-gain antennas is unavoidable. Traditionally, parabolic reflectors are used in applications requiring high-gain. However, the manufacture of the parabolic reflector is difficult, especially when exiting high microwave frequencies. Besides, the main beam directing process because of its bulky and curved structure can be solely performed mechanically. Hence, in studies conducted in recent years, microstrip reflectarray antenna designs according to the parabolic reflective antenna emerge as an attractive alternative. These types of antennas have some advantages like low cost, low reflecting surface profile, small antenna mass, easy manufacturing and electronical-beam direction ability.

The main problem of the microstrip reflectarray antennas is that they have narrow band width. In our work, this problem has been tried to be solved with suitable microstrip reflector array antenna designs.

The main objective of this thesis is to introduce the microstrip reflectarray antennas, to design novel microstrip reflectarrays and to evaluate the fabrications and measurements. In this context, CST Microwave Studio package program was used to analyze the designs. The measurements of reflectarray antennas were done inside a whole anechoic chamber in Kocaeli University Electronics and Communication Engineering, Microwave and Antenna Laboratory.

Keywords: The Unitcell Design, Wideband Microstrip Reflectarray Antenna Design, Microstrip Reflectarray Antennas.

GİRİŞ

Haberleşme uyduları, noktadan noktaya iletişim, çok modlu radarlar, yer ve kıyı gözlem radarları gibi birçok haberleşme ve radar uygulamalarında yüksek-kazançlı, düşük maliyetli ve kompakt antenler kaçınılmaz bir ihtiyaçtır. Geleneksel olarak kullanılan parabolik yansıtıcı antenler bu sistemler için yüksek-kazanç ihtiyacını karşılamalarına rağmen, hantal yapısı özellikle elektronik hüzmeye yönlendirme yapılan platformlarda kullanılmasını kısıtlamaktadır. Bu ihtiyaçları karşılamak amacıyla son yıllarda yansıtıcı dizi anten tasarımlarına başvurulmuştur. Mikroşerit yansıtıcı dizi antenler (YDA), baskı devre teknolojisi ile üretilebilecek düşük maliyetli, kompakt yapıya sahip düzlemsel antenlerdir. Bu antenler, kaynak anteninden gelen Elektromanyetik (EM) dalgayı istenilen yöne düzlemsel yansıtıcı yüzey üzerinde bulunan dizi elemanları vasıtasıyla yansıtmak üzere tasarlanan yüksek kazançlı antenlerdir [1]. Dizi elemanları mikroşerit hat ile beslenmedikleri için özellikle geniş dizilerde meydana gelebilecek besleme hattından kaynaklı kayıpların önüne geçilmiştir.

Mikroşerit YDA tasarımının en önemli ve kritik adımı; birim eleman seçimidir. Eğer birim eleman tasarımı uygun olmazsa kaynak anteninden gelen dalga istenilen doğrultuda ışıma yapamaz. Ayrıca yansıtıcı dizi antenin bant genişliği üzerinde doğrudan ilişkisi vardır. Dar bantlı birim eleman seçimi yansıtıcı dizi antenin de dar bantlı olmasına neden olur. Bunun için literatürde birçok teknik bulunmakla birlikte bu tez çalışmasında değişken-boyutlu hücre yapıları üzerinde durulmuş [2], yansıtıcı dizi antenler bu dizi elemanlarından oluşturulmuştur. 8-12 GHz frekans bandında çalışan YDA tasarımı için birçok birim hücre geometrisi tasarlanmıştır. Bu özgün tasarımlarda faz eğrisinin lineer ve geniş olmasına özen gösterilmiştir.

YDA tasarımındaki ana amaç, kaynak anteninden gelen EM dalganın YDA tarafından istenilen yöne doğru tekrardan geri yansıtılabilmesidir. Temelinde geleneksel olarak kullanılan, dizi teorisi yöntemi ile YDA tasarım ve analizleri gerçekleştirilmiştir. X-

bant frekansında çalışan 1dB kazanç bant genişliği %20'nin üzerinde olan anten tasarımları gerçekleştirilmiştir.

Tasarlanan yapıların ölçümleri Kocaeli Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği, Mikrodalga ve Anten Laboratuvarında bulunan tam yansımasız odada gerçekleştirilmiştir. Yansımasız oda 3m' lik olup frekans aralığı 900 MHz-30 GHz aralığındadır. Işıma örüntüsü ve kazanç grafikleri bu odada yapılan ölçümler neticesinde tezde sunulmuştur.

Son olarak, tez kapsamında yapılan çalışmalar genel olarak değerlendirilmekte ve sonuçlar ele alınmaktadır.



1. YANSITICI DİZİ ANTENLER

Yansıtıcı dizi antenler, kaynak anteni ile beslenen faz dizi elemanların yansıtıcı yüzeye dizilimi ile oluşturulan yapılardır. Burada yer alan faz dizi elemanları kaynak anteninden gelen elektromanyetik ışınımı istenilen doğrultuya yönlendirmek üzere tasarlanırlar [1, 3-6]. Yansıtıcı dizi antenlerin en büyük dezavantajı dar bantlı olmalarıdır (Yaklaşık 3-6%). Bunun en büyük nedeni dar bantlı frekans karakteristiği olan birim elemanların kullanımınıdır [7-9]. Eğer yansıtıcı dizi antende kullanılan dizi elemanları lineer olmayan S-şekilli faz eğrisine sahip ise farklı frekanslara karşı değişimi yüksek olur. Bu da dar bir frekans bandında çalışmasına neden olur. Literatürde yansıtıcı dizi antenlerin geniş bantlı çalışmasını sağlamak amacıyla birçok yöntem önerilmiştir.

Yöntemlerden biri, iki veya daha fazla katmanlı tabakalarda çeşitli boyutlarda yama dizi elemanlardan oluşan anten yapısı kullanmaktır [10-13]. Bu yöntem ile frekansa göre faz değişim eğimi azaltılıp, S-eğrisinin lineer hale getirilmesi sağlanır. Ancak, çok katmanlı anten yapısı ile bant genişliği ancak 10-15% e kadar çıkarılabilmektedir. Ayrıca anten yapısı katmanlı olmasından dolayı kayıplı, hantal ve imalatının kompleks olmasına neden olmuştur.

Bant genişliğini arttırmanın bir diğer yolu ise faz cevabı eğimini azaltmak amacıyla kalın tabaka üzerine yansıtıcı dizi anteni yapmaktır. Fakat bu teknik antenin kazanç ve toplam ışınım verimliliği düşürmektedir [14].

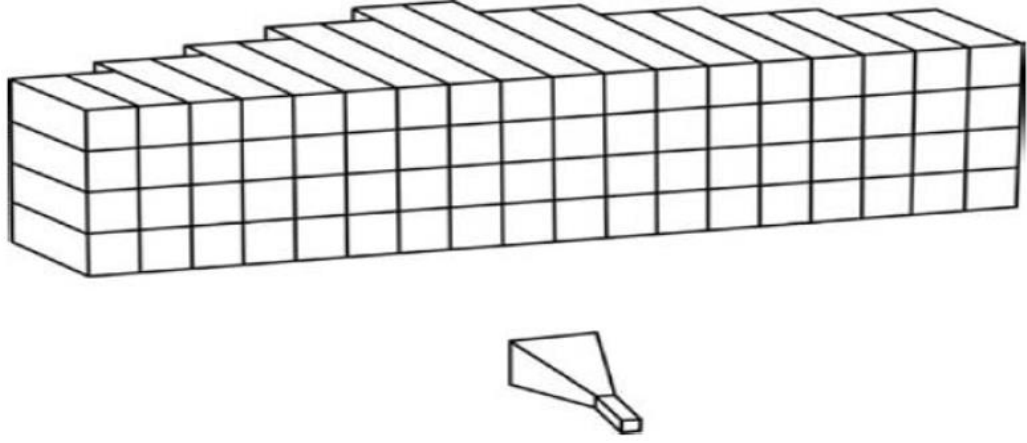
Bunun yanında, üretim kolaylığı sağlaması açısından bant genişliğini arttırmak için tek tabakalı yapılara çoklu-rezonansa sahip dizi elemanları yerleştirilerek tasarlanan çalışmalar da vardır [15-17]. [18]'de bahsedilen tek-katmanlı yapı üzerinde çoklu rezonansa sahip olması açısından çift artı şekilli halkalar kullanılmıştır. Bu çalışma ile 1 dB kazanç bant genişliği 10% olarak elde edilmiştir.

Bant genişliği artırmak için literatürde yer alan bir diğer teknik ise değişken boyutlu yama, dipol ya da halka yapılarının kullanımudur [19]. Değişken boyutlu hücrelerin farklı faz değerleri vardır. Bu ise kaynak anteninden gelen elektromanyetik ışınının farklı kaynak-yol gecikmelerini telafi edebilmesine olanak tanımıştır. Bu noktadan çıkış ile yansıtıcı dizi anten üzerindeki elemanların boyutları, kaynak antenden gelen küresel dalgayı eş-faz düzlemi oluşturacak şekilde farklı boyutlarda tasarlanır. Burada temel hedef, arzu edilen frekans bölgesinde birim hücrenin faz farkı 360° olacak şekilde tasarlanmasıdır. Faz farkı ise yama ya da halka gibi yapıların geometrilerinde farklılık yapılarak elde edilir. Fakat bu yöntemde birim eleman boyutuna göre faz farkı grafiğinde oldukça sert bir değişime neden olmuştur. Ve bunun sonucunda da bant genişliği azalmış, üretim kaynaklı hatalara olan toleransı azalmıştır. Birim eleman boyutuna göre olan faz değişiminin eğimini azaltmak için literatürde kalın tabakalı dielektrik yapıların kullanıldığı görülmektedir. Bu uygulama ise hem faz aralığının 360° den daha az olmasına hem de anten kazancının azalmasına sebep olmuştur.

Bahsedilen bu problemleri aşmak için yansıtıcı dizi anteni tek katman üzerine dizilecek yeni dizi elemanlarının tasarımına gidilmiştir. Bu amaçla, tasarlanan yeni geometriye dizi elemanları; kare ve dikdörtgen halkalar, Willmill halkası, Malta çarpı, çapraz halka ve yarı-spiral hatlar şeklinde sıralanabilir.

1.1. Yansıtıcı Dizi Antenlerin Tarihsel Gelişimi

Yansıtıcı dizi anten konsepti ilk olarak 1960'ların başında Berry, Malech ve Kennedy [20] tarafından tasarlanmıştır. Tasarım farklı uzunluklu kısa devre sonlandırılmış dalga kılavuzlarından oluşmaktadır (Şekil 1.1). Bu dalga kılavuzları üzerlerine düşen dalgaları uzak alanda eş faz düzlemi oluşturacak şekilde yansıtmak üzere üretilmiştir. Bu dönemde çoğu kablosuz haberleşme sistemi düşük mikrodalga frekanslarında işlem gördüğünden, hantal yapıları dalga kılavuzu antenleri ilgi görmemiştir. Ayrıca bu antenlerin verimlilikleri incelenmemiş ve optimize edilmemiştir.



Şekil 1.1. Dalga kılavuzu modelli yansıtıcı dizi anten [1]

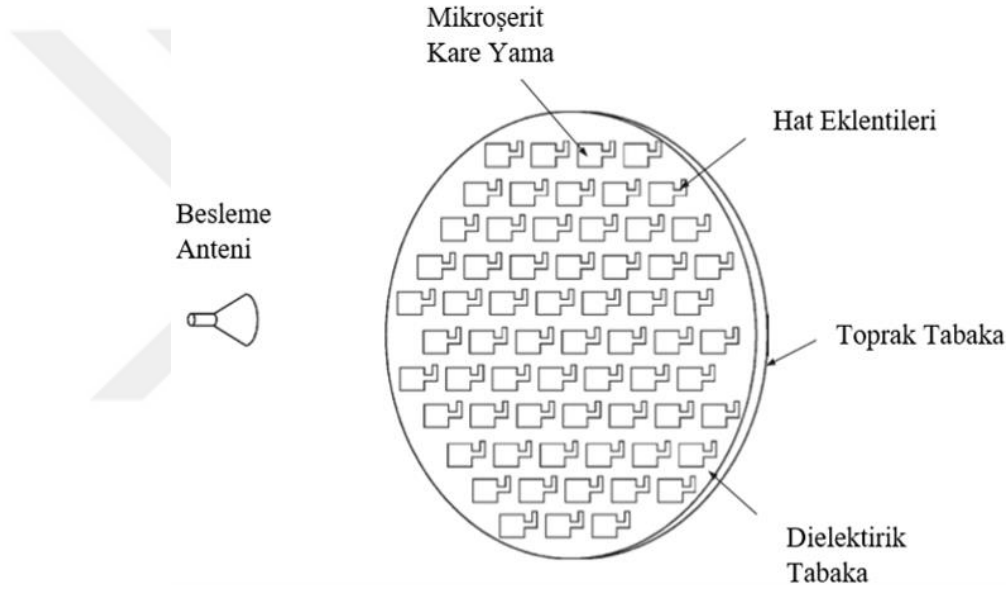
1977’de ‘‘spirafaz’’ yansıtıcı dizi anteni Phelan tarafından geliştirilmiştir [21]. Dairesel olarak polarize edilmiş bir reaktörün dört kol spiral veya çapraz dipol elemanında anahtarlama diyotları kullanılmıştır. Bu yapıda rotasyonel faz kaydırma ilkesi uygulanmıştır. Antenin geniş açılı elektronik tarama yeteneği deneysel olarak kanıtlanmıştır. Antenin hantal yapısı ve düşük açıklık verimliliğinden dolayı takip eden on yılda geliştirilmeye çalışılmamıştır.



Şekil 1.2. Merkezi olarak anahtarlama diyotlu, yansıtıcı antenin dört kollu spiral modeli [1]

Yansıtıcı dizi antenlerde iyi bir verimliliğe sahip olmak için hüzme genişliği, elemanlar arasındaki mesafe ve F/D (F =besleme antenin yüzeye olan uzaklığı, D = antenin fiziksel boyutu) oranı arasındaki karmaşık ilişki iyi tasarlanmalıdır. Aksi takdirde yüzey empedansı uyumsuzluğu veya büyük geri saçılmalar ortaya çıkacaktır.

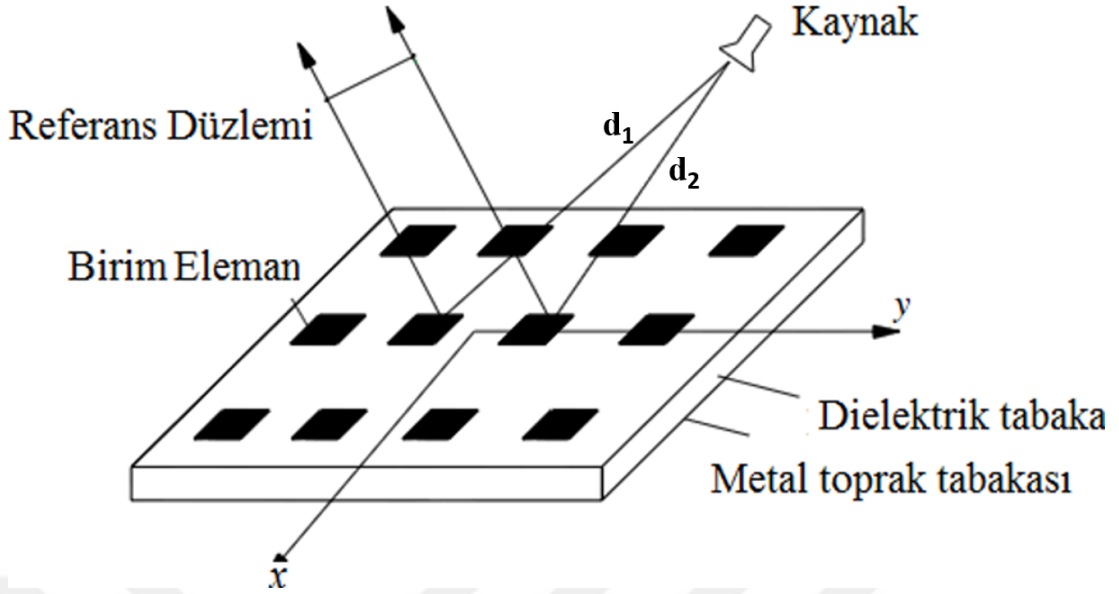
Basılabilir mikroşerit antenlerin geliştirilmesiyle birlikte yansıtıcı dizilerin tasarımında mikroşerit yansıtıcı elemanlar kullanılmaya başlanmıştır. Bu yeni tasarımın mekanizması Şekil 1.3’de gösterilmiştir. Yansıtıcı dizi antenlerde mikroşerit elemanların kullanımından ilk olarak Malagisi [22] tarafından 1978’de bahsedilmiştir. Aynı yıl içinde, sonsuz dizi yaklaşımı kullanarak mikroşerit yansıtıcı dizi elemanlarını analiz etmeye yönelik ilk girişim Montgomery [23] tarafından gerçekleştirilmiştir. Ancak yaklaşık on yıl kadar mikroşerit yansıtıcı dizilerin gelişimiyle ilgili herhangi bir gelişim sağlanmamıştır. 1980’lerin sonu 1990’ların başında, anten boyutunu ve hacmini azaltmak için çeşitli mikroşerit yansıtıcı dizi antenler geliştirilmiştir.



Şekil 1.3. Mikroşerit yamalarla oluşturulmuş yansıtıcı dizi anten modeli [1]

1.2. Yansıtıcı Dizi Antenlerde Bant Genişletme Teknikleri

Daha önce de bahsedildiği üzere yansıtıcı dizi antenlerin ana sınırlayıcısı olan bant genişliği genellikle %5’in altındadır ve daha büyük boyutlu yansıtıcı dizi antenler için daha azdır. Bant genişliğinin artırılması için son yıllarda çok çaba sarf edilmiştir. Yansıtıcı dizi anten bant genişliği [7]’de açıklandığı üzere iki farklı faktörle sınırlıdır. Birincisi ışınım elemanlarının dar bandı, ikincisi ise Şekil 1.4’de görüldüğü üzere beslemeden ışınım yüzeyine gelen elektromanyetik dalgaların her bir noktaya farklı mesafelerde yol kat ederek gelmesidir.

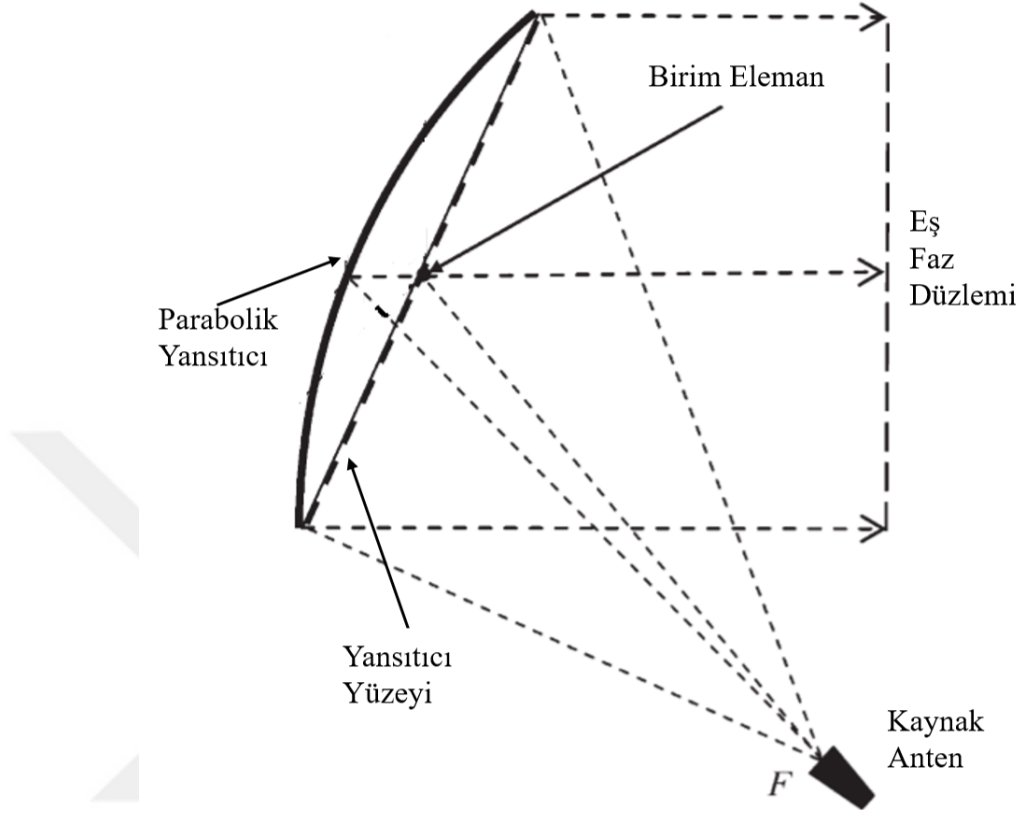


Şekil 1.4. Mikroşerit YDA geometrisi

Işınım elemanları tarafından oluşan sınırlı bant genişliği [8]'de gösterildiği gibi en çok orta boyutlu yansıtıcı dizi antenler için kısıtlayıcıdır. İnce bir dielektrik tabaka üzerine basılan mikroşerit yamalar genellikle ışınım elemanı olarak kullanılırlar ve bu elemanların dar bant genişliklerinden (%3-5) dolayı yansıtıcı dizi antenin de bant genişliğini sınırlarlar. Ancak pratiği yapılmış bir dizideki ışınım elemanının bant genişliği ile yansıtıcı dizinin bant genişliği aynı değildir. Pratiği yapılmış basılı bir dizideki bant genişliği, ışınım elemanının giriş empedansının uygunlaştırılması(matching) ile belirlenir ve maksimum geri dönüş kayıp değerleri ile tanımlanır.

Parabolik antenin eğriliği ile elde edilen eş-faz düzlemi, besleme anten ve YDA yüzeyi arasındaki yol farkı hesaba katılarak tasarlanan birim hücre elemanları ile sağlanır (Şekil 1.5). Yansıtıcı anten yüzeyine dizilen birim hücre elemanları uygun faz gecikmesini verecek şekilde dizildiğinde, kaynaktan gelen dalga uzak-alanda eş-faz düzlemi oluşturacak şekilde geri yansır. Birim eleman geometrisindeki değişimin (yama boyutu, gecikme hattı uzunluğu, vs.) faz değişikliği üzerindeki etkisi iyi araştırılmalıdır. S-şekilli eğri olarak da adlandırılan Faz-Eleman değişim grafiği elde edilmelidir. Geniş bantlı anten tasarımları yapabilmek için birim hücre elemanına ait

farklı frekanslardaki bu faz değişim eğrilerinin birbirine paralel olması gerekmektedir. Ayrıca S-eğrisinin merkezindeki eğimi en aza indirmek amaçlanır.



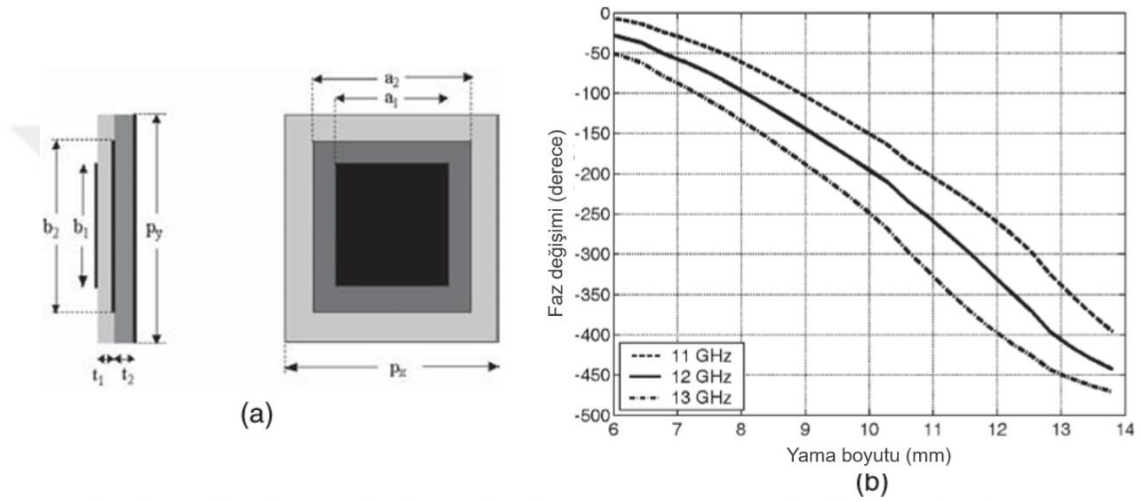
Şekil 1.5. Parabolik anten ve YDA'nın eş faz düzlemi oluşturması [1]

Tek katman üzerine basılmış birim elemanın faz-eleman değişim grafiği lineer olmadığından yansıtıcı dizinin bant genişliği sınırlanmaktadır. Dielektrik tabakanın kalınlığı artırılarak lineer ve eğimi daha az bir faz değişim grafiği elde edilebilir. Ancak bu tasarımla toplam faz aralığı 300°'den daha düşük elde edilmiştir. Tüm faz değerlerinin elde edilebildiği (>360°) bir yansıtıcı dizi anten tasarımı için uygun değildir.

360°'den daha geniş, eğimi daha az bir eğri elde etmek için çok katmanlı yansıtıcı dizilerden yararlanır. Toprak tabaka önündeki bir rezonans elemanın maksimum faz aralığı $\pm 180^\circ$ 'dir. İki veya daha fazla katmanın kullanılmasıyla çoklu-rezonansa sahip yapılar elde edilir ve 360° limiti sağlanır. Ayrıca her bir katmandaki dielektrik tabakanın kalınlığı artırılarak lineer ve daha az eğimli bir faz değişimi eğrisi elde edilir.

Şekil 1.6a’da bant genişliğini artırmak için kullanılan iki katmanlı yapı görülmektedir. Her bir dielektrik tabakaların kalınlığı olan t_1 ve t_2 ile yamaların boyutları ayarlanarak, 360° ’den geniş doğrusal bir faz değişim grafiği elde edilir. Şekil 1.6b’de görüldüğü üzere iki katmanlı yapının farklı frekanslardaki faz eğrileri birbirine paraleldir. Bu özellikleri göz önüne alındığında ideal bir yansıtıcı dizi anten elemanı olmaya adaydır.

Bu sonuçlar iki katmanlı yapıların tek katmanlı yapılardan daha geniş bir bant genişliği sağladığını göstermektedir.



Şekil 1.6. (a) Değişken yama boyutlu iki katmanlı yapı, (b) Faz değişim grafiği ($a_1=b_1$, $a_2=b_2$, $p_x=p_y=14$ mm, $t_1=t_2=3$ mm, $\epsilon_r=1,05$, $a_1= 0,7a_2$) [1]

Yansıtıcı dizi antenlerin bant genişliklerini artırmak için son yıllarda farklı tipte yansıtıcı dizi elemanları üzerine çalışılmıştır [12, 18, 24]. Değişken boyutlu çeşitli geometrili yamalar [24]’de incelenmiş, faz kaydırma performansları klasik şekillerle (dikdörtgenler, dipoller vb.) karşılaştırılmıştır. İncelenen bu çalışmada tek katmanlı dikdörtgen yamalara göre daha iyi bir faz kaydırma performansı elde edilirken cross polarizasyon seviyesi artmıştır. [24]’de çift katmanlı yapılar da incelenmiş ve tek katmanlı yapılara göre üstün bir performans göstermiştir. [25]’de yığın metalik halkalar yansıtıcı dizi elemanı olarak kullanılmıştır. Yığın dikdörtgen yamalarda olduğu gibi faz değişimi metalik halkaların boyutları değiştirilerek elde edilir. Halka yapısı kullanılarak bant genişliği geliştirilmiştir fakat kare yama konfigürasyonundan

çok da üstün değildir. Bu sebeple yapılan diğer çalışmalarda farklı yama şekilleri kullanılarak bant genişliği artırılmaya çalışılmıştır.

1.3. Genel Dizi Teorisi

Anten dizileri, tek anten ile elde edilemeyen bir ışına örüntüsünün sağlanmasında kullanılan yapılardır. Anten dizilerinde dizi elemanlarının elektriksel özellikleri ve geometrik yerleşimleri, elde edilecek ışına örüntüsüne göre önem kazanmaktadır. Genel olarak, anten dizilerinin istenilen doğrultuda dar bir ana hüzmeye ile düşük seviyeli yan hüzmelerden oluşan bir örüntüye sahip olması istenir. Arzu edilen yöne ışına yapacak şekilde tasarlanan dizi antenin elemanlarının fazları değiştirilerek başka yönleri taraması sağlanır.

Dizi antenler herhangi bir mekanik etki olmadan, gelen elektromanyetik dalgaları alabilir ya da istenilen yönde ışına yapabilmektedir. Bilgi taşıma açısından yüksek bant genişliğine sahip olduklarından verimlidirler. Hareketli aksamalarının olmayışı ile düşük görünürlük elde edildiğinden askeri ortamlarda sıklıkla tercih edilirler. Haberleşme uyduları, noktadan noktaya iletişim, çok modlu radarlar, yer ve kıyı gözlem radarları gibi birçok haberleşme ve radar uygulamalarında yüksek-kazançlı, düşük maliyetli ve kompakt olan dizi antenlerin kullanılması kaçınılmaz bir ihtiyaçtır.

1.3.1. Anten dizileri kavramı

Anten dizileri iki veya daha fazla antenin, istenilen yönde ışına yapabilmesi için birlikte tasarlanır ve çalışır vaziyette bir sistem oluşturulur. Genellikle tek bir elemanın hüzmeye genişliği oldukça geniştir, yönlendiricilik değeri ise düşüktür. Bu bağlamda anten dizileri hüzmeye genişliğini daraltmak ve yönlendiriciliği artırmak için kullanılmaktadır. Tek bir antenin boyutlarıyla oynayarak istenilen ışına özellikleri sağlanabilmektedir fakat bu çözüm beraberinde fazladan maliyet ve yük getirmektedir. Bu sebeple tek bir anten yerine birden fazla antenden oluşan anten dizileri kullanılmaktadır. Birçok durumda dizi elemanları birbiriyle aynıdır. Bu zorunlu değildir ancak çoğu kez daha uygun, daha basit ve daha pratiktir. Dizi antenlere gelen

sinyalin genlik ve faz değerleri değiştirilerek işaret sönümlenebilir ya da istenilen yönde işıma yapması sağlanabilmektedir.

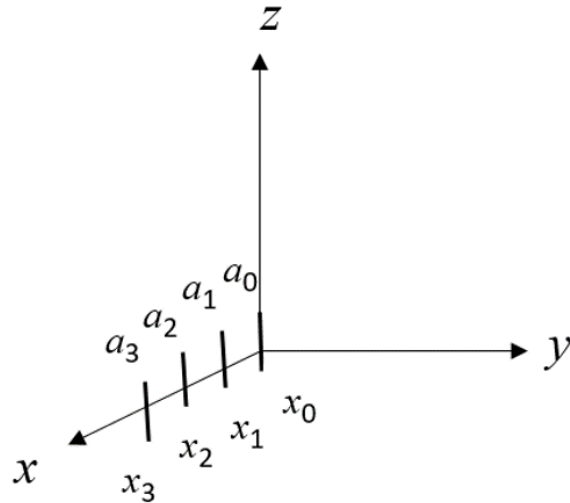
Özdeş anten elemanlarından oluşan bir dizi antenin işıma diyagramını belirleyen faktörler şunlardır;

1. Dizi antenin geometrik şekli (lineer, dairesel, küresel vb.),
2. Dizi elemanları arasındaki uzaklık,
3. Dizi elemanlarının beslemesinin genliği ve fazı,
4. Dizi elemanlarının tek başına işıma diyagramı.

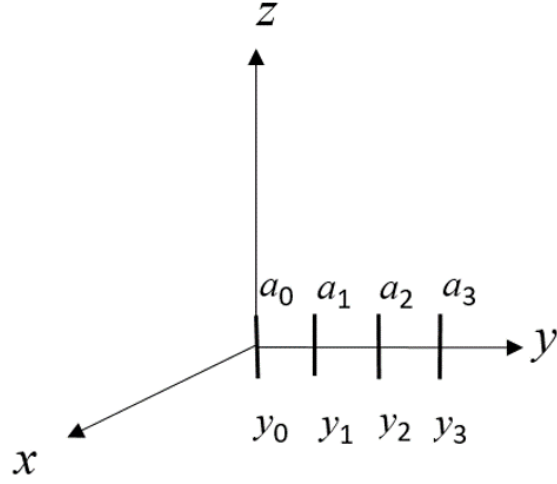
İstenile işıma özelliklerini yukarıda belirtilen özelliklerle oynayarak elde edebiliriz.

1.3.2. Doğrusal anten dizileri

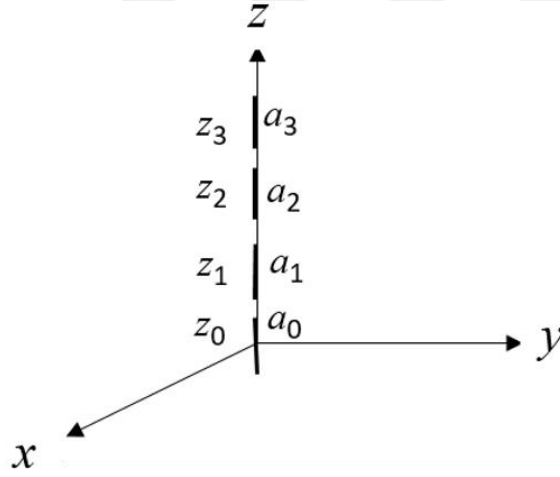
Anten dizileri elemanların bir hat boyunca yerleştirilmesiyle oluşturulmaktadır. Tümü aynı değerli ve her biri artan fazlı olan özdeş elemanlı bir dizi düzgün dizi olarak ifade edilir. Genelde elemanları düzgün aralıklarla ve doğrusal olarak yerleştirilmesiyle oluşan düzgün doğrusal anten dizileri kullanılmaktadır. Ayrıca farklı uygulamalara yönelik elemanlar arasına farklı mesafeler konularak da dizi antenler oluşturulmaktadır. Doğrusal anten dizilerinin basit yerleşimi avantaj olmasına karşın tek bir düzlemde tarama yapması dezavantajdır.



şekil 1.7. x-ekseni boyunca doğrusal anten dizisi



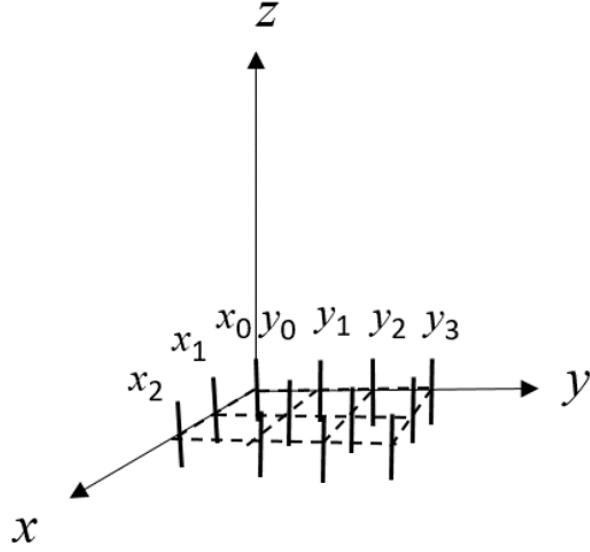
Şekil 1.8. y-ekseni boyunca doğrusal anten dizisi



Şekil 1.9. z-ekseni boyunca doğrusal anten dizisi

1.3.3. Düzlemsel anten dizileri

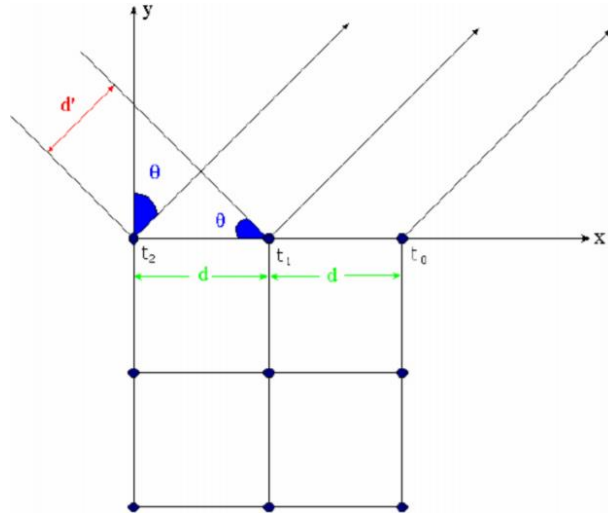
Düzlemsel anten dizileri, antenlerin iki eksende yerleşim sağlamasıyla oluşturulan dizilerdir. Doğrusal antenlerde ışınma örüntüsü sadece dizi ekseninde tek boyutta taranabilirken düzlemsel anten dizilerinde iki boyut birden taranabilmektedir. Bunun yanında düzlemsel antenlerde anten sayısı artacağından işlem yükü artmaktadır. Bu sebeple doğrusal anten dizilerine eklenecek birkaç antenle iki boyutta tarama yapılmaya çalışılmaktadır. Düzlemsel anten dizilerinin avantajı olarak iki boyutta da tarama yapması söylenebilirken anten sayısının fazla oluşunun getirdiği işlem yükü dezavantajıdır.



Şekil 1.10. xy-ekseni boyunca doğrusal anten dizisi

1.3.4. Dizi antenlerde faz kayması

Dizi antenlerde ışınma örüntüsünün ana lobunu yönlendirebilmek için, dizi elemanlarına önceden hesaplanan miktarda faz farkı uygulamak gerekmektedir. Faz farkı zamanla gecikmeye denk gelir; bu gecikmeyi $\Delta\tau$ diye isimlendirirsek, istenen θ açısı için nasıl hesaplanacağı Şekil 1.11 yardımıyla aşağıdaki adımlar uygulanarak gerçekleştirilir.



Şekil 1.11. Faz kaymasının oluşması [26]

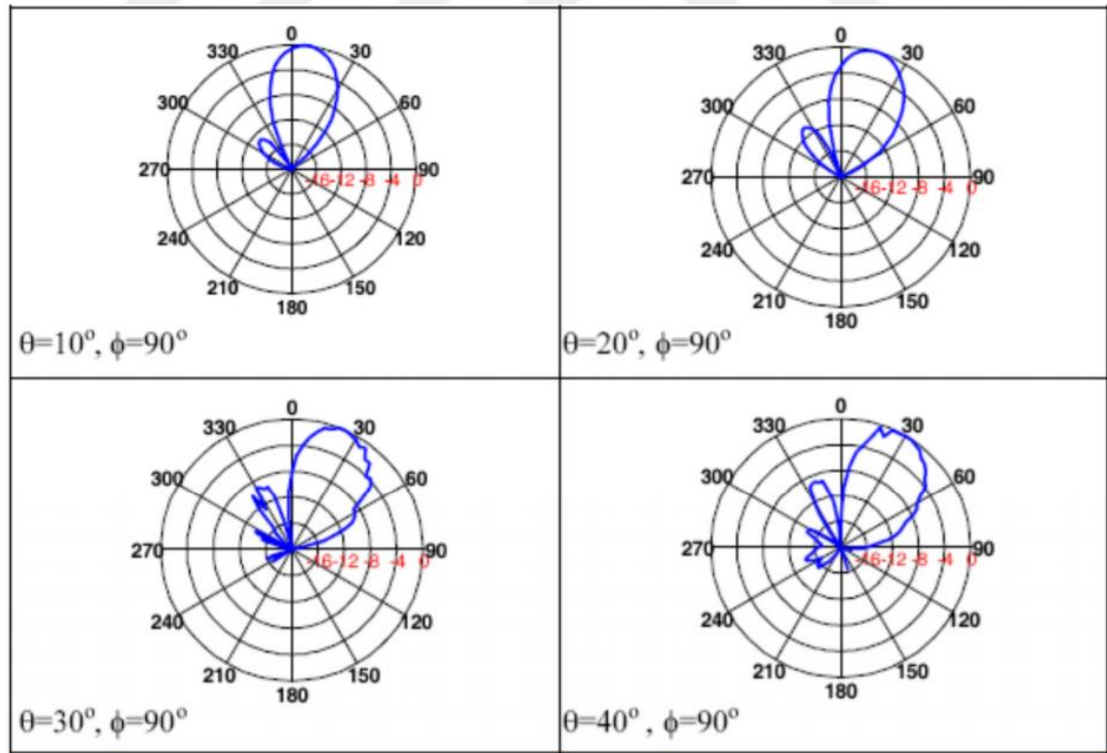
3x3'lük diziyi ele alırsak, özellikle hangi düzlemde açı vermek isteniyorsa, o düzleme dik dizi elemanlarına aynı olmak şartıyla, yatay dizi elemanlarına $\Delta\tau$ kadar gecikme uygulanmalıdır. Şekil 1.11 göz önüne alınırsa, xy-düzleminde θ açısı için en sağdaki düşey dizi elemanlarına sinyal t_0 anında, en soldaki düşey diziyeye ise $t_2=t_1+\Delta\tau$ anında uygulanmalıdır.

$\Delta\tau$ hesabı için Şekil 1.11 verilen geometriden faydalanılır. Zamanda gecikme d' yol farkı olmak üzere,

$$\Delta\tau = \frac{d'}{c} \quad (d'=d\sin\theta, c=\text{ışık hızı}) \quad (1.1)$$

Denklem (1.1) ile hesaplanır.

Hesaplanan zaman farkı dizi elemanlarına uygulanır. Şekil 1.11 göz önüne alınırsa $t_1=t_0+\Delta\tau$, $t_2=t_0+2\Delta\tau$ olacaktır. Sadece bir düzlemde değil her iki düzlemde de açı verilmek istenirse, hem yatay hem de düşey dizi elemanlarına gecikme verilmelidir.

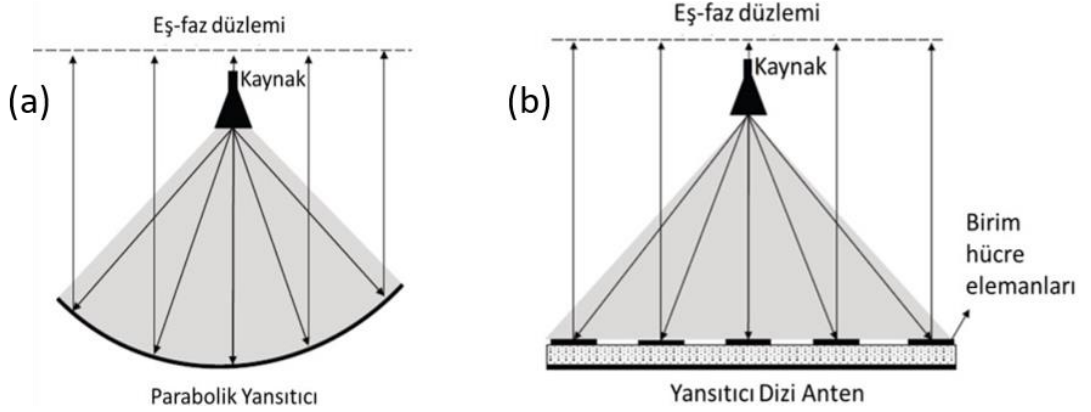


Şekil 1.12. Ana lobu yönlendirilmiş dizi antenin ışınma örüntüleri [26]

2. YANSITICI DİZİ ANTEN TASARIMI

Mikroşerit yansıtıcı dizi antenler, kaynak anteninden gelen Elektromanyetik (EM) ışınımı istenilen yöne düzlemsel yansıtıcı yüzey üzerinde bulunan dizi elemanları vasıtasıyla yansıtmak üzere tasarlanan yüksek kazançlı antenlerdir (Şekil 2.1).

Parabolik yansıtıcı antenlere göre mikroşerit yansıtıcı dizi antenlerin dezavantajı dar bantlı olmalarıdır (Yaklaşık 3-6%). Mikroşerit YDA tasarımının en önemli ve kritik adımı; birim eleman seçimidir. Eğer birim eleman tasarımı uygun olmazsa kaynak anteninden gelen dalga istenilen şekilde ışınım yapamaz. Yansıtıcı anten yüzeyine dizilen birim hücre elemanları uygun faz gecikmesini verecek şekilde dizildiğinde, kaynaktan gelen dalga uzak-alanda eş-faz düzlemi oluşturacak şekilde geri yansır. Diğer bir deyişle, parabolik antenin eğriliği ile elde edilen eş-faz düzlemi, besleme anten ve YDA yüzeyi arasındaki yol farkı hesaba katılarak tasarlanan birim hücre elemanları ile sağlanır. Bu nedenle YDA tasarımının ilk adımı birim hücre tasarım ve analizlerinden oluşmaktadır.



Şekil 2.1. (a) Parabolik anten geometrisi ve (b) Tipik bir mikroşerit YDA geometrisi

2.1. Birim Eleman Tasarımı

Mikroşerit YDA tasarımının en önemli ve kritik adımı; birim eleman seçimidir. Birim eleman seçerken ise 4 önemli unsura dikkat edilmelidir. Bunlar; yansıma fazı, eleman hüzmeye genişliği, eleman bant genişliği ve eleman yansıtma verimliliğidir.

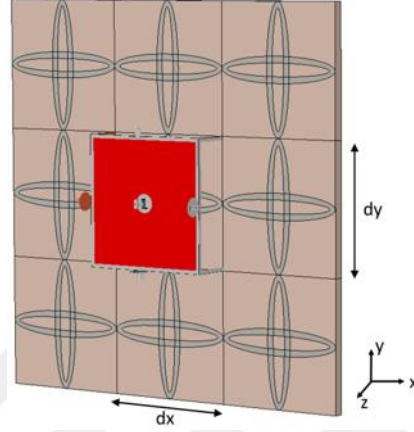
Yansıma Fazı: Birim eleman geometrisindeki değişimin (yama boyutu, gecikme hattı uzunluğu, vs.) faz değişikliği üzerindeki etkisi iyi araştırılmalıdır. S-şekilli eğri olarak da adlandırılan Faz-Eleman değişim grafiği elde edilmelidir. YDA anten tasarımında S-eğrisinin merkezindeki eğimi en aza indirmek amaçlanır. Merkezdeki bu eğim çok dik olursa, özellikle yüksek mikrodalga frekanslarında fabrikasyon ya da eleman geometrisine bağlı değişime karşı anten çok hassas olacaktır.

Literatürde Yansıtıcı dizi anten karakteristiği direk olarak birim hücre performansına bağlı olduğu için birim hücre analizinin doğru yapılması kritik önem taşımaktadır. Proje çalışmamızda, birim hücrelerin ve YDA' ların analizi için CST Microwave Studio paket programı kullanılmıştır.

Dizide yer alan anten elemanının EM davranışı, diğer elemanlarla olan kuplaj etkisinden dolayı, onun tek başına olan EM davranışından farklıdır. Dolayısı ise birim hücre analizlerini kuplaj etkilerinin de dahil edildiği bir analiz yöntemi ile yapılması gerekmektedir.

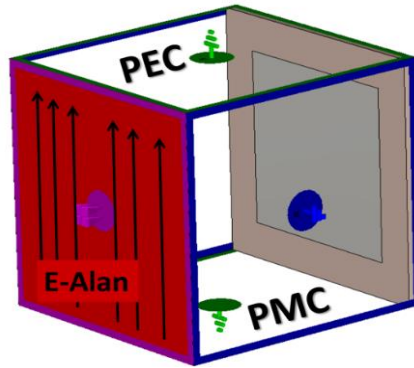
Bu amaçla kullanılan yöntemlerden biri sonsuz dizi yaklaşımıdır [19, 14] (Şekil 2.2). Böylelikle dizi elemanı aynı elemandan oluşan sonsuz dizi gibi davranmış olur. Bu yöntemin iki ana dezavantajı bulunmaktadır. İlki bütün elemanların aynı boyutta olduğu kabul edilip analiz edilir ki YDA' larda genelde değişken boyutlu elemanlar kullanılır. İkincisi ise dizinin ilgilenen düzlemde sonsuz olduğu kabul edilip analizi yapıldığından pratikte kullanılacak sonlu boyuttaki YDA' nın kenar düzlemindeki EM davranışındaki sapmaların ihmal edildiğidir. Bu iki durumdan dolayı, analizler ile elde edilen yansıyan dalganın faz bilgisi gerçek durumun bilgisini içermemektedir.

Dolayısı ile bu yöntemle elde edilen eleman davranışı faz bilgisi tam çözüm yerine yaklaşık sonuç verir. Bu ise genlik ve fazda kaymalara sebep olmakla birlikte, yapının genel performansı üzerinde ciddi bir etkisi olmaz. Bu nedenle bahsedilen dezavantajlarına rağmen, sonsuz dizi yaklaşımı “birim hücre” analizleri için kullanılan uygun bir yöntemdir.



Şekil 2.2. Sonsuz dizi yaklaşımı modeli

Diğer yöntem ise Şekil 2.3’de yer alan dalga kılavuzu modelidir [1]. Dizi geometrisindeki birim hücrelerin faz kaymalarını ve kayıp miktarlarını elde etmek için bu yöntem sıklıkla tercih edilir. Bu modelde, gelen elektrik alanın teğet bileşenlerinin olduğu duvarlar mükemmel manyetik (PMC), E-alanın dik olduğu duvarlar ise mükemmel elektrik iletken (PEC) olarak atanır. Böylece E-alanı PEC sınırlarında sonsuz, H-alanı da PMC sınırlarında sonsuz gibi davranır. Dalga kılavuzu tasarlanan birim hücre ile sonlandırılır ve yapıya ilişkin yansıma karakteristikleri elde edilir.



Şekil 2.3. Dalga kılavuzu modeli

Bu tez çalışmasında birim hücrelerin “faz değişim” grafiklerini elde etmek için dalga kılavuzu modeli seçilmiştir.

Bu tez kapsamında çeşitli birim hücre tasarımları yapılmış ve simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Bu tasarım çalışmalarında maksimum yansıma faz değişimi, mekanik toleranslara olan duyarlılık ve bant genişliği gibi parametreler özellikle incelenmiştir. Bu parametreler doğrultusunda ancak tasarlanan bir birim hücrenin yansıtıcı dizi anten için uygun bir birim eleman olup olmadığı anlaşılabilir. Yapılan bu tasarımlara tezde yer verilerek, bunlardan bazıları yansıtıcı dizi antende dizi elemanı olarak kullanılacaktır.

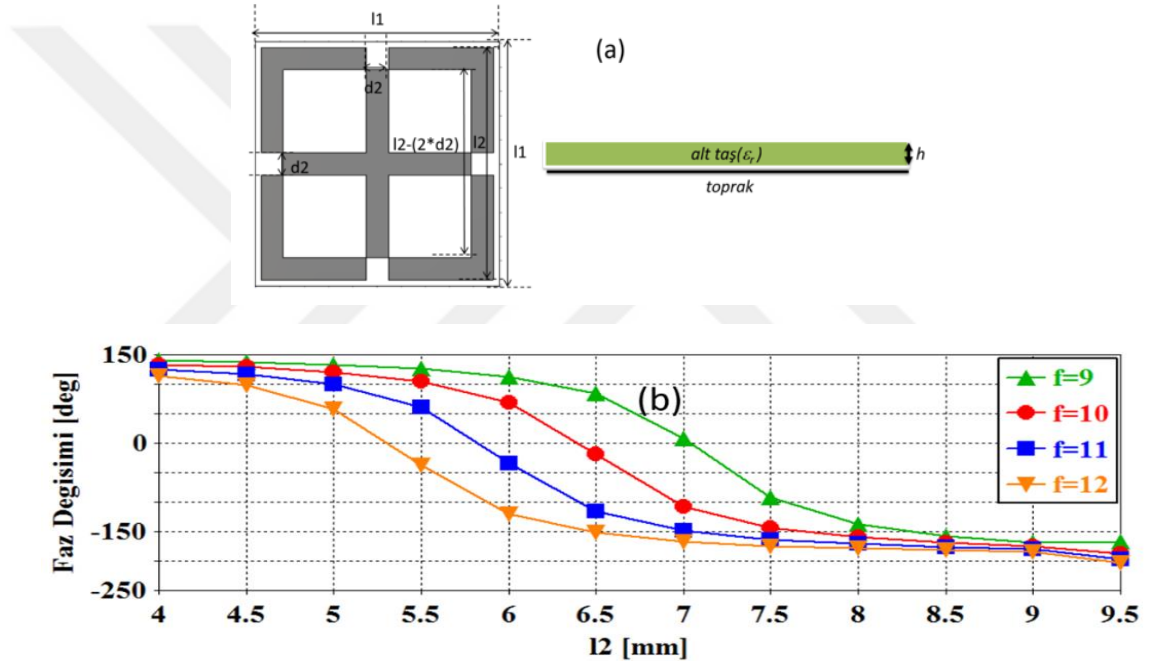
2.2. Kare Açıklık ve Artı Geometrilik Birim Eleman Tasarımı

Tasarlanan birim hücre 10 mm x 10 mm boyutlarında ($f=10$ GHz’de $0,33\lambda \times 0,33\lambda$), olup dielektrik katsayısı $\epsilon_r=3$, kalınlığı $h=1,524$ mm olan malzeme kullanılmıştır (Şekil 2.4a). Tasarımda kullanılan diğer parametreler Tablo 2.1’de yer almaktadır. Bu yapı CST Microwave Studio’ da dalga kılavuzu modeli kullanılarak analiz edilmiştir. Bu amaçla yapının gelen elektrik alanın teğet bileşenleri PMC, dik duvarları ise PEC olarak sınır koşullarında tanımlanmıştır. Sınır koşulları tanımları yapıldıktan sonra, 12 parametresinin değişimine bağlı faz değerini elde etmek için “Parametrik Sweep” işlemi uygulanıp “Transient Solver” ile analizi yapılmıştır. Burada istenilen frekans değeri için yansıma kapısındaki faz değerleri 12’nin 4 mm den 9,5 mm’ye kadar değişken değerleri için depolanmıştır.

Tablo 2.1. Kare açıklık ve artı geometrilik birim elemana ait parametreler

Parametre	(mm)
l2	Değişken (4 mm – 9,5 mm)
l1	10
d1	0,08
d2	0,9

Birim hücrelerin faz değişiminin 360° 'den az olmaması istenilir. Bunun en büyük sebebi, özellikle kaynaktan gelen dalgalarla oluşan faz gecikmesini telafi etmek, istenilen doğrultuya hüzmeyi yönlendirmek olarak sayılabilir. Birim hücre çalışmalarında farklı frekanslardaki faz karakteristiği önemli bilgilerden bir diğeridir. Geniş bantlı anten tasarımları yapabilmek için birim hücre elemanına ait farklı frekanslardaki bu faz değişiminin paralel olması gerekmektedir. Şekil 2.4b'de yer alan grafikte, 9 GHz - 12 GHz frekans aralığında elde edilen faz değişimi neredeyse paralel bir yapıdadır. Ayrıca yapının toplam faz değişimi yaklaşık 360° kadardır. Bu da onu yansıtıcı dizi anten elemanı olarak kullanılabileceğini göstermektedir.



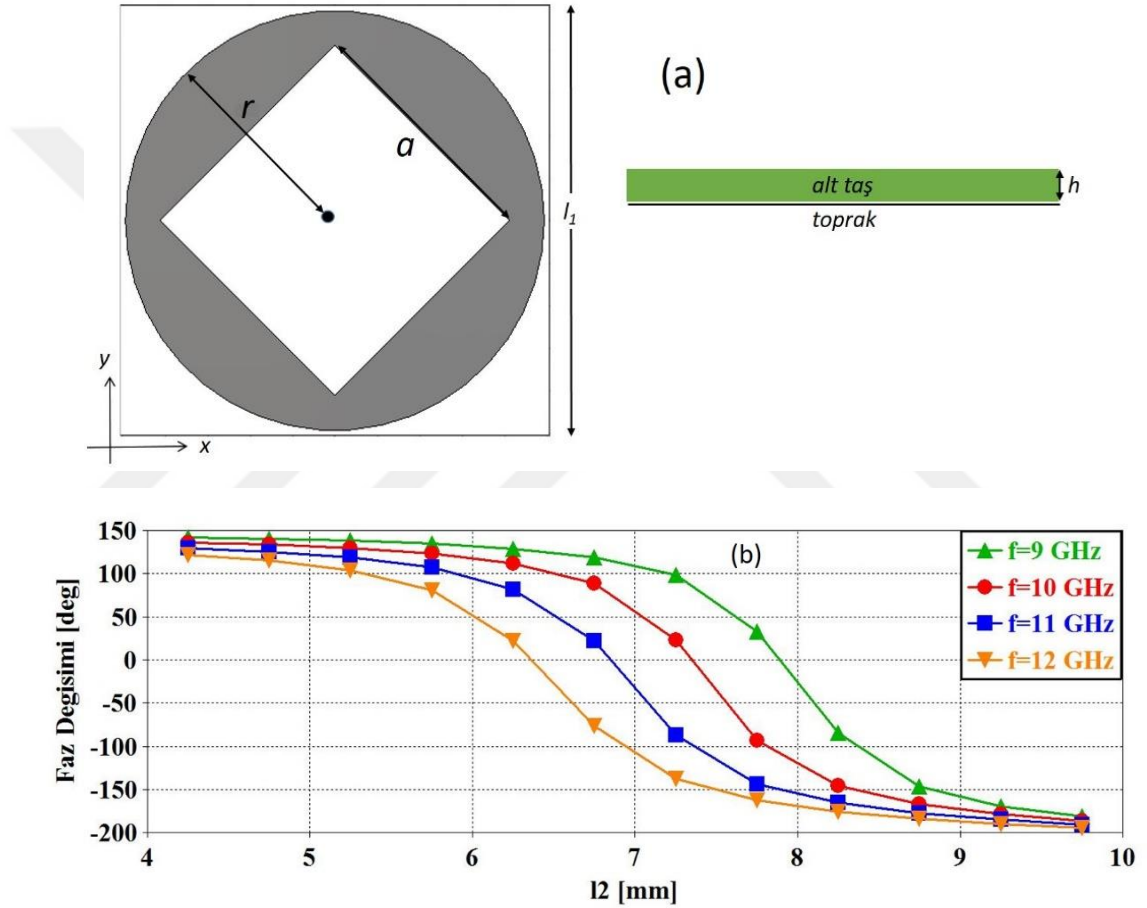
Şekil 2.4. (a) Kare açıklık döngü birim hücre, (b) $f=9-12$ GHz aralığındaki frekanslar için faz değişim grafiği

2.3. Dairesel Eşlenik Baklava Geometrilili Birim Eleman Tasarımı

Tasarlanan birim eleman $10 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$ boyutlarında ($f=10,7 \text{ GHz}$ ' de $0,35\lambda \times 0,35\lambda$), olup dielektrik katsayısı $\epsilon_r=3$, kalınlığı $h=1,524 \text{ mm}$ olan malzeme kullanılmıştır (Şekil 2.5a). Tasarımda kullanılan diğer parametreler Tablo 2.2' de yer almaktadır. Burada istenilen frekans değeri için yansıma kapasitesindeki faz değerleri l_2 'nin $4,25 \text{ mm}$ 'den $9,75 \text{ mm}$ 'ye kadar değişken değerleri için depolanmıştır.

Tablo 2.2. Dairesel eşlenik baklava geometrii birim elemana ait parametreler

Parametre	(mm)
l_2	Değişken (4,25 mm – 9,75 mm)
l_1	10 mm
a	$l_2/4$
r	$l_2/2$



Şekil 2.5. (a) Dairesel eşlenik baklava birim hücre, (b) $f=9-12$ GHz aralığındaki frekanslar için faz değişim grafiği

Şekil 2.5b'de yer alan grafikte, 9 GHz - 12 GHz frekans aralığında elde edilen faz değişimi eğrileri neredeyse birbirine paralel bir yapıdadır. Bu da onun geniş bant yansıtıcı dizi anten elemanı olarak kullanılabilmesinin bir göstergesidir.

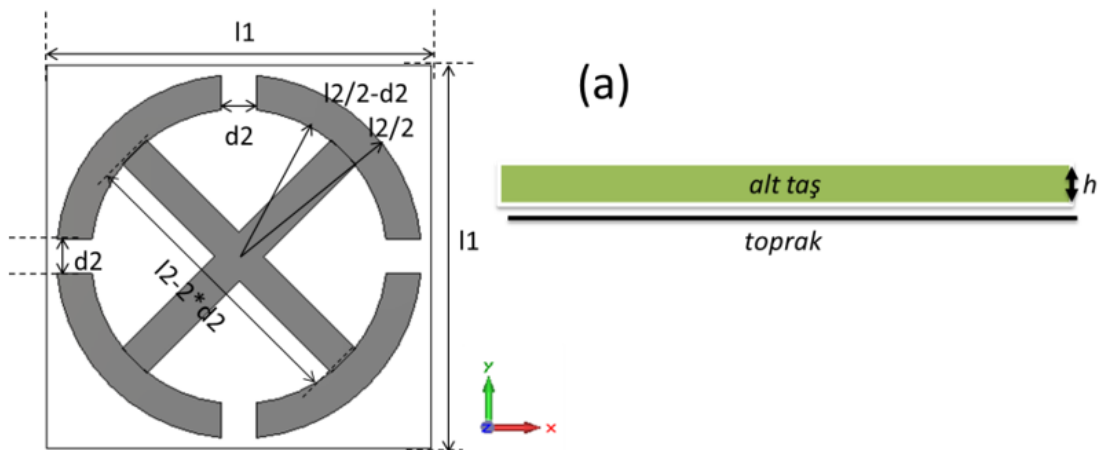
2.4. Açıklık Halka ve Çarpı Geometrilili Birim Eleman Tasarımı

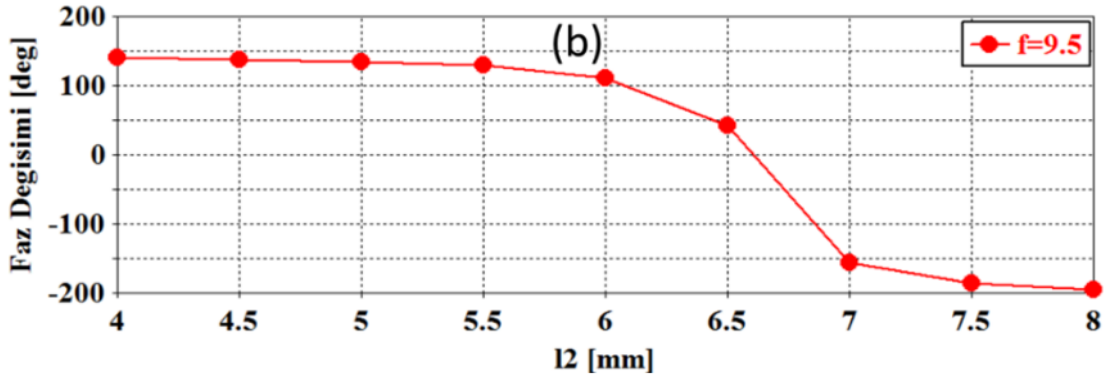
Birim hücre tasarımlarındaki üçüncü önemli parametre faz değişim eğrisindeki eğimidir. Eğer eğimi s olarak ifade edecek olursak Denklem (2.1)'deki gibi hesaplanır.

$$s = \max \left| \frac{\partial \varphi}{\partial p} \right| \quad (2.1)$$

Burada p , değişken geometrik parametreyi (örneğin, yama boyutu, yarı çapı vs.) φ ise faz değerini ifade eder. Bu değer, tasarımın pratik gerçeklemeye uygun olup olmadığını gösterir. Özellikle geniş bantlı yansıtıcı dizi anten tasarımlarının pratik gerçeklemelerinde ortaya çıkan mekanik toleransı gösterdiği için “ s ” önemli bir parametredir. Örneğin, s değeri $65^\circ/\text{mm}$ olan bir birim hücre analizi için pratik gerçeklemede olabilecek $0,1 \text{ mm}$ 'lik sapma $6,5^\circ$ 'lik faz hatası getirecektir. Bu nedenle, mümkün olduğunca s değerinin küçük tutulması gerekir.

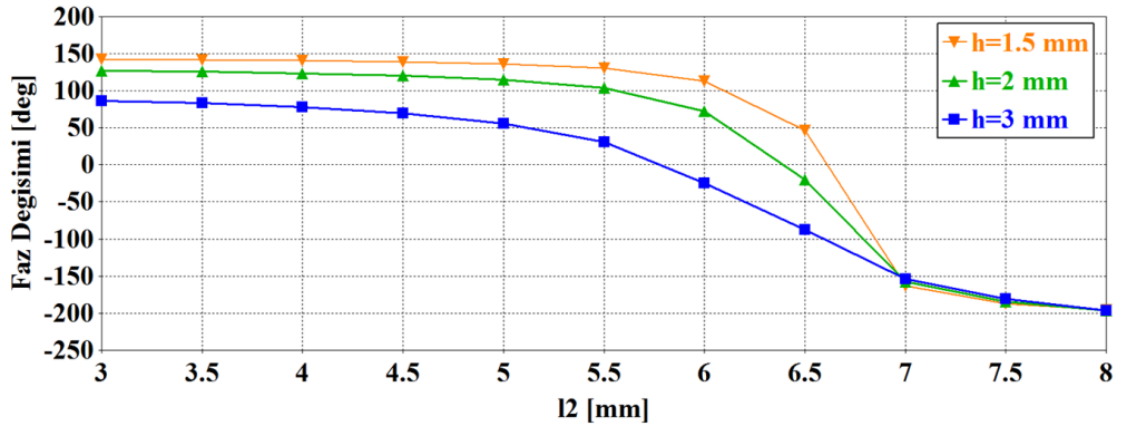
Açıklık halka ve çarpı geometrisinden oluşan birim hücre yapısı Şekil 2.6a' da bulunmaktadır. Yapıya ait parametreler; $l_2 = \text{değişken}$ ($4 \text{ mm} - 9,5 \text{ mm}$), $l_1 = 10 \text{ mm}$, $d_1 = 0,08 \text{ mm}$, $d_2 = 0,9 \text{ mm}$ şeklinde olup, dielektrik katsayısı $\epsilon_r = 3$, kalınlığı $h = 1,524 \text{ mm}$ olan malzeme kullanılmıştır. Şekil 2.6b' de yer alan faz değişim grafiğinden de görüldüğü üzere bu yapının s değeri $147^\circ/\text{mm}$ 'dir. Oldukça dik bir eğime sahiptir. Dolayısıyla ile pratik gerçeklemelerdeki hataları tolare edemez.



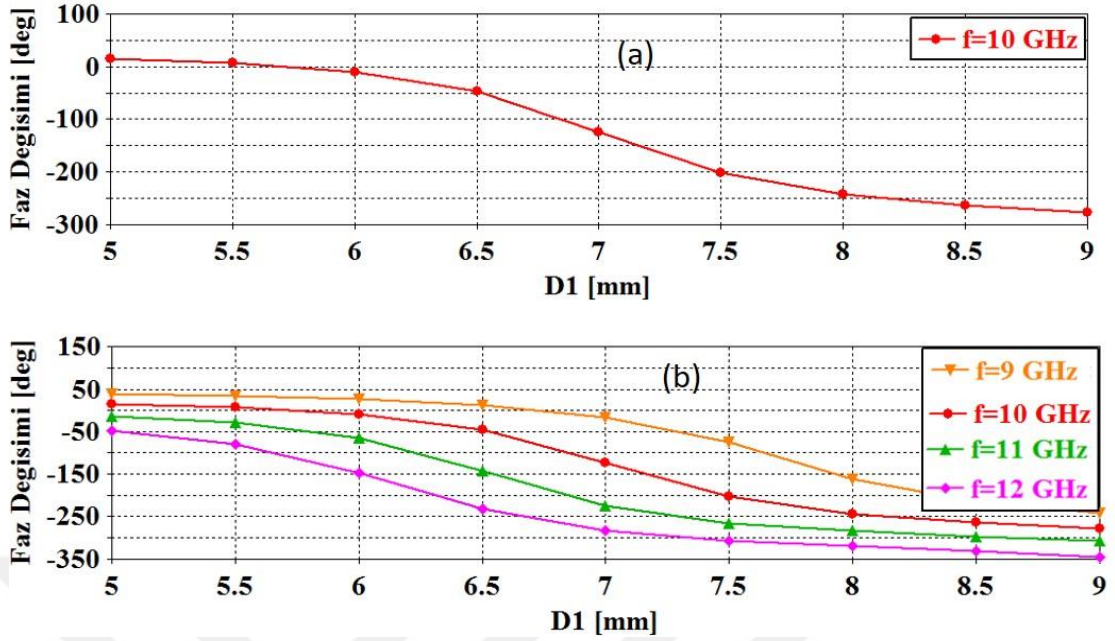


Şekil 2.6. (Devam) (a) açıklık halka ve çarpı birim hücre, (b) $f=9,5$ GHz’ deki faz değişim grafiği

Duyarlılık “s” parametresi birim hücre geometrisi ile yakından ilişkilidir. Dielektrik tabaka kalınlığı üzerine yapılan parametrik çalışmalar, kalın tabakaların ince tabakalara göre daha az hassas olduğu göstermiştir. Bunun yanında katmanlı tabakalar üzerinde yapılan parametrik çalışmalar da çok-katmanlı yapıların, tek-katmanlı yapılara oranla daha az hassas olduğunu göstermiştir. Şekil 2.7’de dielektrik tabaka kalınlığı üzerine yapılan bir parametrik çalışma mevcuttur. Görüldüğü üzere tabakanın kalınlaşması ile faz değişim eğimi azalmıştır. Fakat kalın tabakaların kullanımı daha öncede bahsedildiği gibi antenin kazanç ve toplam ışınım verimliliği düşürmektedir.



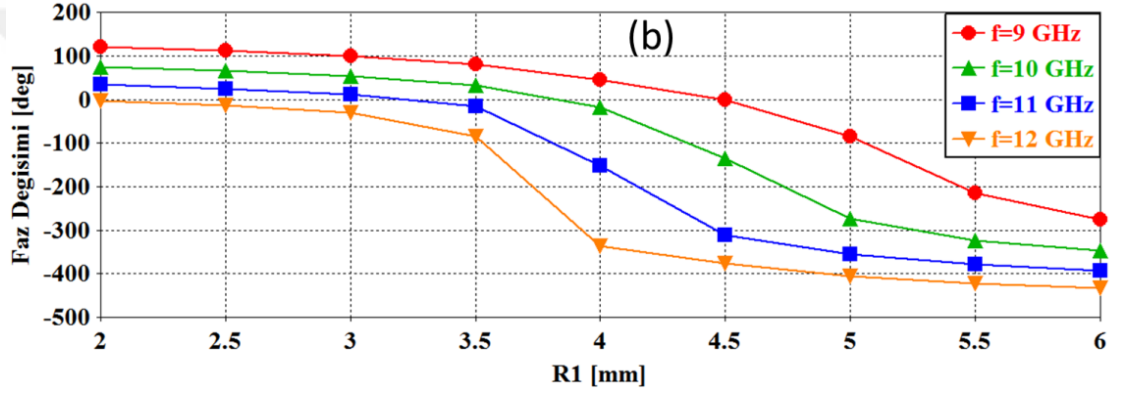
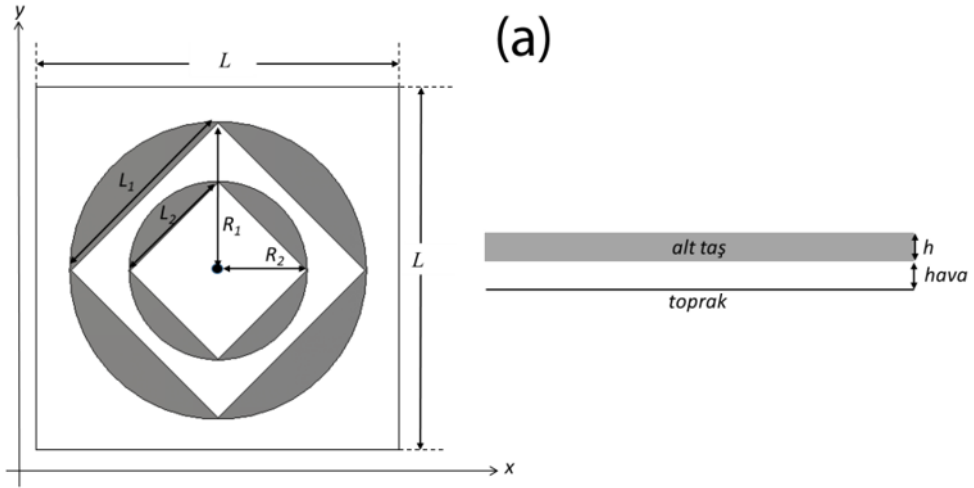
Şekil 2.7. $f=9,5$ GHz’ de farklı dielektrik kalınlıklarında faz değişim grafiği



Şekil 2.9. (a) $f=10$ GHz’ de $D1$ parametresine bağlı faz değişimi, (b) $f=9$ GHz - 12 GHz aralığında faz değişimi

2.6. Çift Eşlenik Baklava Yama Geometrili Birim Eleman Tasarımı

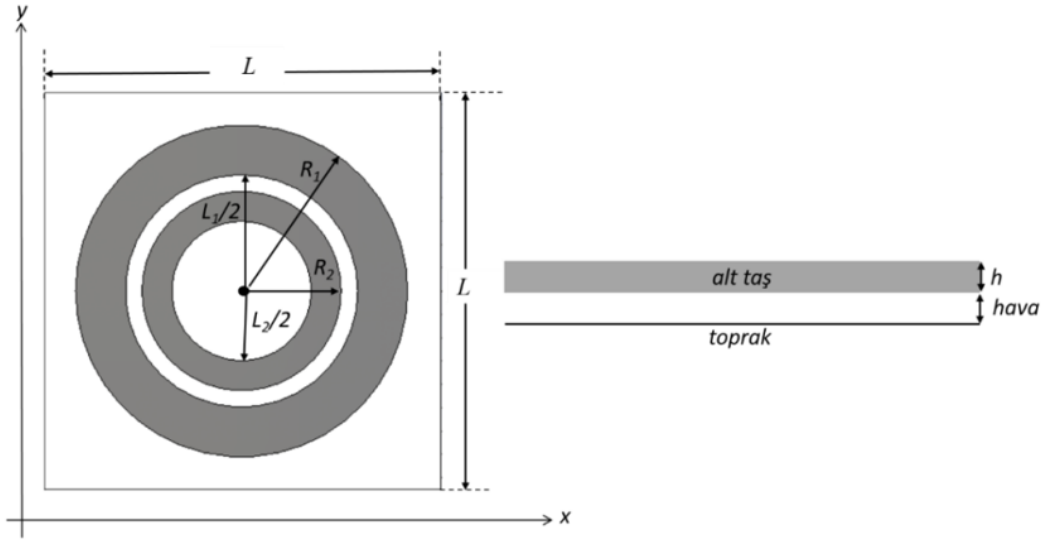
Daha geniş bantlı YDA yapabilmeyen yollarından biri geniş faz aralığına sahip birim elemanların kullanılmasıdır. Bu amaçla farklı birim hücre tasarımları üzerinde durulmaya devam edilmiştir. Şekil 2.10a’ da bu amaçla tasarlanan birim hücre bulunmaktadır. Tasarlanan bu birim hücre $17 \text{ mm} \times 17 \text{ mm}$ yani $f=10$ GHz’ de $0,57\lambda \times 0,57\lambda$ boyutunda olup, dielektrik katsayısı $\epsilon_r=3$, yüksekliği $h=1,524$ mm olan tabaka üzerinde tasarlanmıştır. Bu tabakanın arkasına $5,5$ mm’ lik hava boşluğu bırakarak toprak tabakası yerleştirilmiştir. Bunun yanı sıra diğer parametreleri ise $R1=\text{değişken}$, $R2=k2 \times R1$, $L1=k1 \times R1$, $L2=k1 \times R2$, $k1=1,4$, $k2=0,6$ şeklindedir. Şekil 2.10b’ den görüldüğü üzere yapının toplam faz değişimi yaklaşık 420° dir.



Şekil 2.10. (a) Birim hücre geometrisi, (b) $f=9-12$ GHz aralığındaki frekanslar için faz değişim grafiği

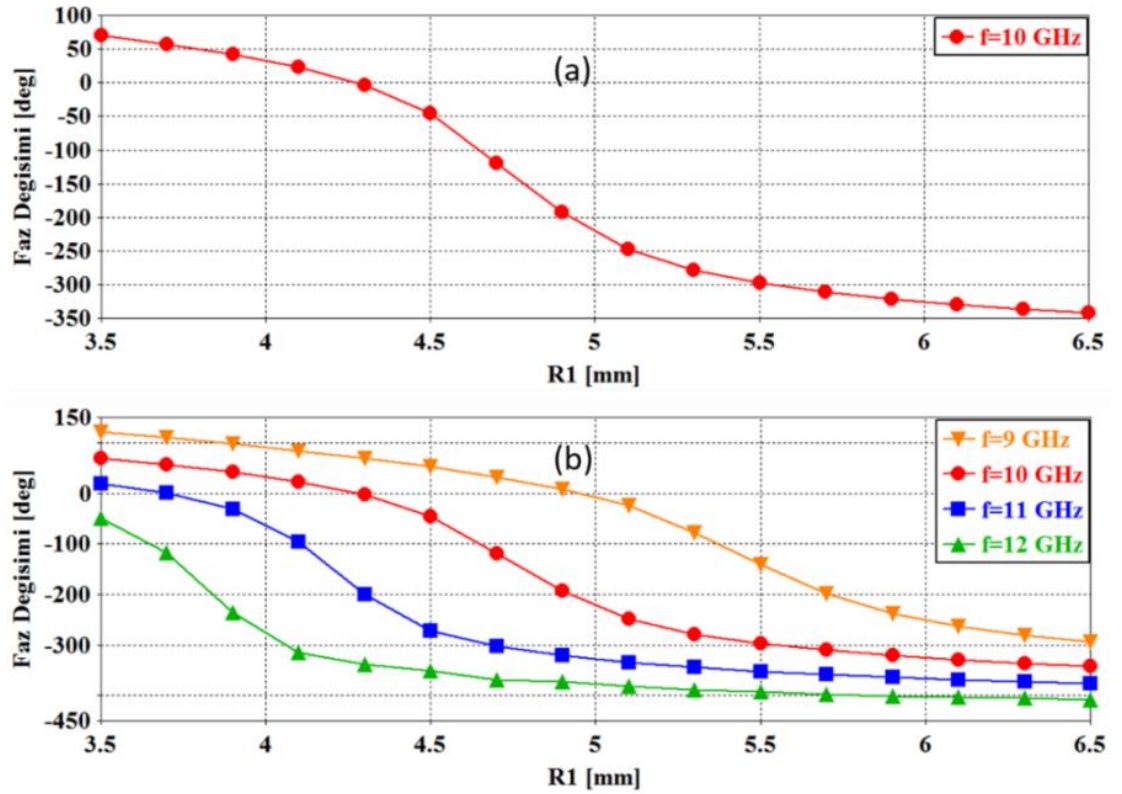
2.7. Çift Dairesel Halka Geometrilili Birim Eleman Tasarımı

Geniş bantlı YDA tasarımda kullanılması için çift kare halka geometrilili birim hücrenin tasarımı ve simülasyonları yapılmıştır. Bu tasarımda, kullanılan parametreler; $R1 = \text{değişken}$ (2 mm - 6 mm), $R2=0,6 \times R1$, $L1=1,4 \times R1$, $L2=1,4 \times R2$ şeklindedir. Tabaka olarak dielektrik katsayısı $\epsilon_r = 6,15$ yüksekliği $h=0,508$ mm olan malzeme kullanılmıştır. Birim hücre 17 mm X 17 mm boyutunda olup, arka toprak tabakası 5,5 mm hava boşluğundan sonradır (Şekil 2.11).



Şekil 2.11. Birim hücre geometrisi

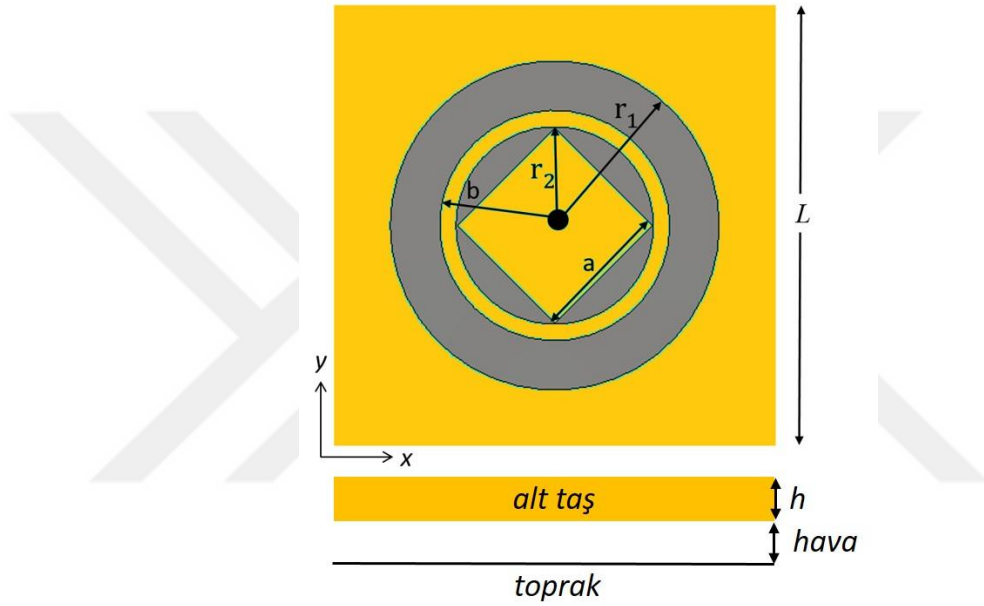
Birim hücrenin analizi, CST Microwave Studio' da dalga kılavuzu modeli kullanılarak yapılmış R_1 parametresine bağlı değişen faz bilgisi elde edilmiştir (Şekil 2.12).



Şekil 2.12. (a) $f=10$ GHz' de R_1 parametresine bağlı faz değişimi, (b) $f=9$ GHz -12 GHz aralığında faz değişimi

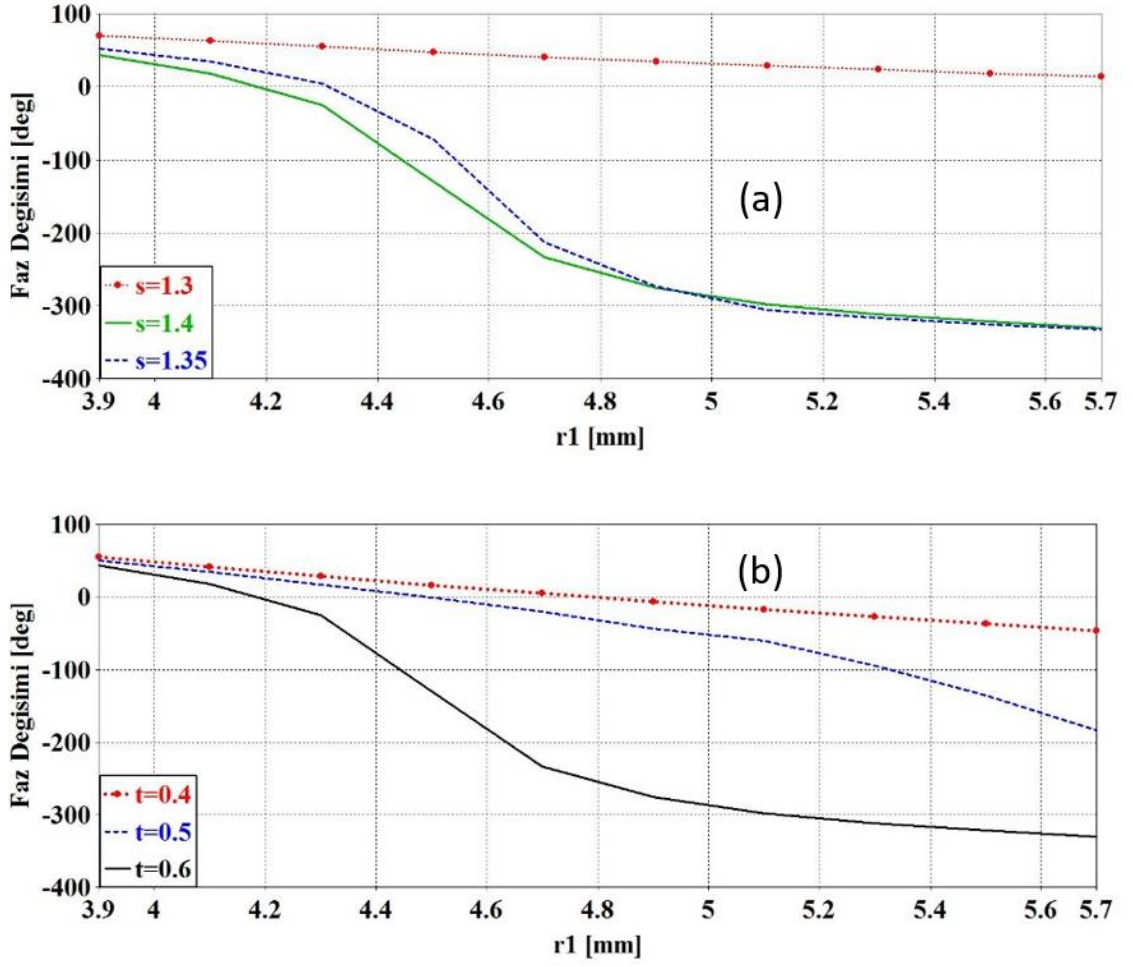
2.8. Dairesel Yama ve Eşlenik Baklava Geometrisinden Oluşan Birim Hücre Tasarımı

Dairesel yama ve eşlenik baklava geometrisinden oluşan bu birim hücre, dielektrik katsayısı 6,15, yüksekliği 0,508 mm ($0,016\lambda$) olan ince bir tabaka üzerinde tasarlanmıştır. Yapının X-bant uygulamalarında kullanılması için birim hücrenin boyutu $f=10$ GHz’ de $0,53\lambda$ a denk gelen $D=16$ mm ile alınmıştır. Buna ilaveten daha yavaş bir faz değişimi elde etmek için dielektrik tabaka ile toprak arasında bir hava boşluğu bırakılmıştır (Şekil 2.13).



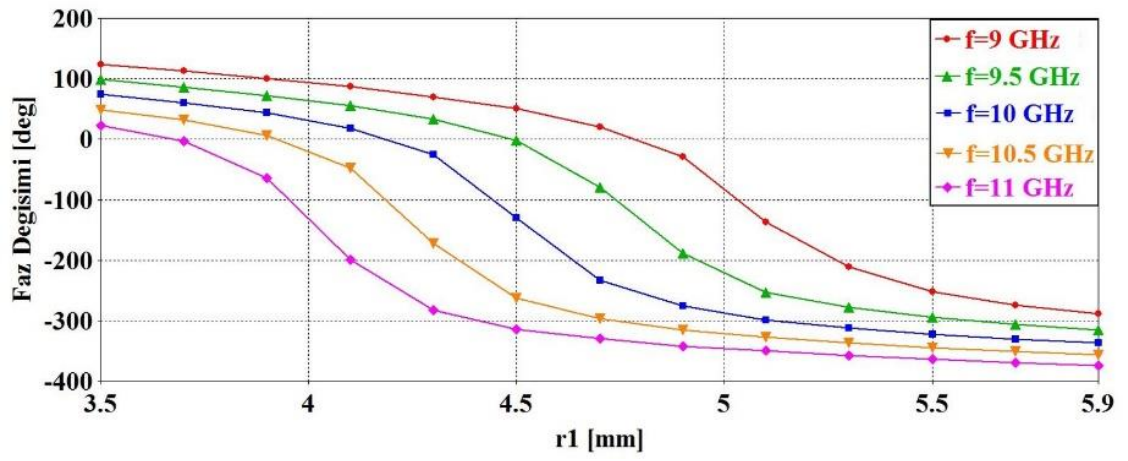
Şekil 2.13. Birim hücre geometrisi

Birim hücre geometrisindeki boyutlar; r_1 =değişken, $r_2=txr_1$, $a = sx2r_2$, $b = sx2r_1$, ve hava boşluğu 5,5 mm olarak alınmıştır. Geometrideki r_1 parametresinin 3,5 mm’ den 5,9 mm’ ye olan değişimi ile daha geniş ve düşük eğimli faz değişimi elde etmek için parametrik çalışma gerçekleştirildi. Şekil 2.14’de yapılan bu çalışma neticesinde “s” ve “t” parametrelerinin faz değişimi üzerindeki etkileri elde edildi. Görüldüğü üzere $s=1,4$, $t=0,6$ değerleri için en uygun faz değişimi elde edilmiştir. Neticede bu değerler ile yapının tasarımın yapılmıştır.



Şekil 2.14. (a) “s”, (b) “t” parametrelerinin $f=10$ GHz’ de faz değişimi üzerindeki etkileri

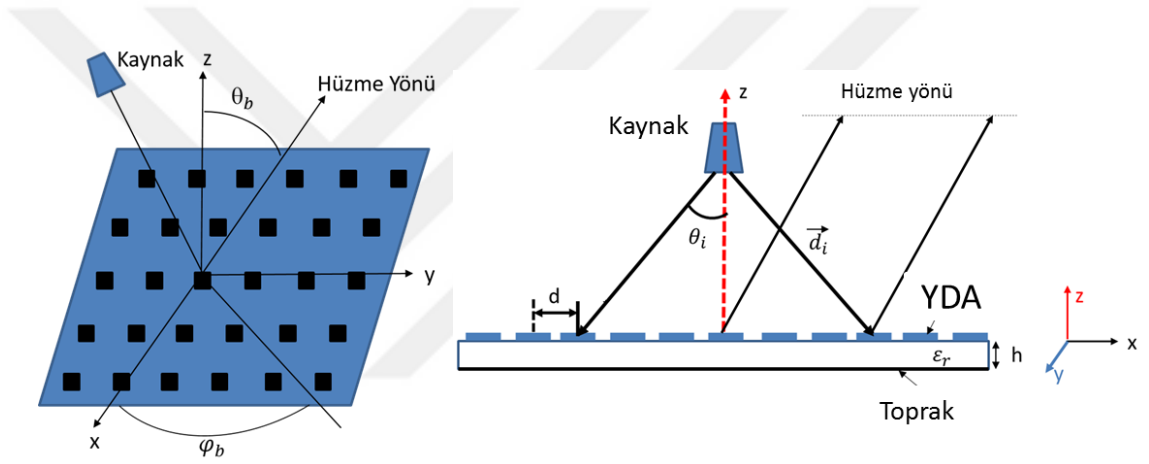
Yansıtıcı dizi anten değişken-boyutlu hücre elemanları ile tasarımı yapılacaktır. Birim eleman geometrisindeki r_1 parametresinin değişimi elemanın empedansını da değiştirecektir. Farklı boyutlu yapıların fazları da farklı olacağından kaynaktan gelen EM ışınımın yol farkını telafi edecek şekilde ayarlanabilir. Şekil 2.15’ de birim hücrenin $f=9$ GHz - 11 GHz frekans aralığında elde edilmiş faz değişimi yer almaktadır. Görüldüğü üzere toplam faz değişimi 430° ’dir. Ayrıca farklı frekanslardaki faz değişimi de birbirine paralel durumdadır ki bu da antenin geniş bantlı olabileceğinin bir kanıtı olmaktadır.



Şekil 2.15. f=9 GHz - 12 GHz aralığında faz değişimi

3. DEĞİŞKEN BOYUTLU BİRİM HÜCRELER İLE YDA TASARIMI

Bant genişliği artırmak için literatürde yer alan tekniklerden biri olan değişken boyutlu birim elemanlar ile YDA tasarımı bu projede tercih edilen yöntem olmuştur. Değişken boyutlu hücrelerin farklı faz değerleri vardır. Böylece yansıtıcı dizi anten üzerindeki elemanların boyutları, kaynak antenden gelen küresel dalgayı eş-faz düzlemi oluşturacak şekilde farklı boyutlarda tasarlanır. Şekil 3.1’ de yansıtıcı dizi antenin çalışma mekanizması gösterilmiştir.



Şekil 3.1. YDA çalışma mekanizması

Görüldüğü üzere, odak noktasında bulunan kaynaktan gelen küresel dalgalar, YDA üzerindeki her bir birim elemana farklı uzunluktaki mesafeler kat ederek gelmektedir. Geri yansıyan dalgayı belirli bir yöne doğru yönlendirebilmek adına birim hücre elemanları ile bu faz gecikmeleri telafi edilmelidir. x-y düzlemine yerleştirilen YDA’ daki her bir birim hücrenin faz dağılımı, istenilen doğrultuya (θ_b, φ_b) yönlendirmek için dizi teorisinden Denklem (3.1) kullanılarak işlem yapılabilir;

$$\varphi_R(x_i, y_i) = -k_0 \sin \theta_b \cos \varphi_b x_i - k_0 \sin \theta_b \sin \varphi_b y_i \quad (3.1)$$

Denklemden yer alan k_0 , serbest uzay yayılma sabiti, x_i, y_i ise “i. nci” elemanın koordinatını belirtmektedir. Diğer taraftan YDA üzerindeki her bir elemandan yansıyan dalganın fazı, gelen dalganın fazına yani, her bir elemanın faz kayması ile kaynaktan gelen yayılımın toplamına eşittir (Denklem (3.2));

$$\varphi(x_i, y_i) = k_0 d_i + \varphi_R(x_i, y_i) \quad (3.2)$$

Burada kullanılan, $\varphi(x_i, y_i)$ “i. nci” elemanın faz kaymasını, d_i ise kaynağın (x_i, y_i) inci elemana olan mesafesidir. Denklem (3.1) ve (3.2) kullanılarak her bir eleman için arzu edilen faz kayması değeri hesabı için denklem türetilir.

$$\varphi_R(x_i, y_i) = k_0 d_i - k_0 \sin \theta_b \cos \varphi_b x_i - k_0 \sin \theta_b \sin \varphi_b y_i \quad (3.3)$$

$$\varphi_R(x_i, y_i) = k_0 (d_i - \sin \theta_b \cos \varphi_b x_i - \sin \theta_b \sin \varphi_b y_i) \quad (3.4)$$

$$\varphi_R(x_i, y_i) = k_0 (d_i - (\cos \varphi_b x_i + \sin \varphi_b y_i) \sin \theta_b) \quad (3.5)$$

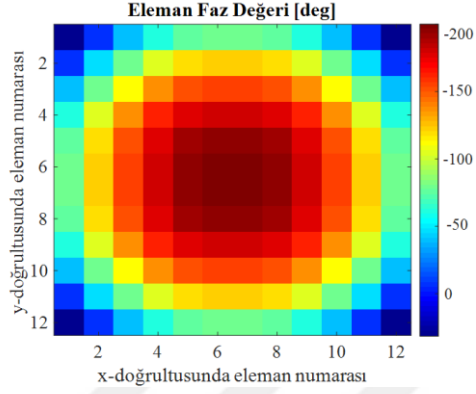
$$d_i = \sqrt{(x_i - x_f)^2 + (y_i - y_f)^2 + (z_i - z_f)^2} \quad (3.6)$$

Netice itibari ile Denklem (3.5) ve (3.6) kullanılarak her bir elemanın faz kayması değeri hesap edilebilir. Bu denklemde yer alan x_f, y_f ve z_f kaynak antenin koordinatını belirtmektedir. Denklem (3.5)’ de yer alan faz değişimi, birim hücre yapısındaki herhangi bir geometrik parametrenin değişimi ile elde edilebilir. Örneğin dairesel yamalardan oluşan birim hücrelerin daire yarıçaplarının değişimi ile değişken faz değerleri oluşturulabilir.

3.1. Kare Açıklık ve Artı Geometrili YDA Tasarımı

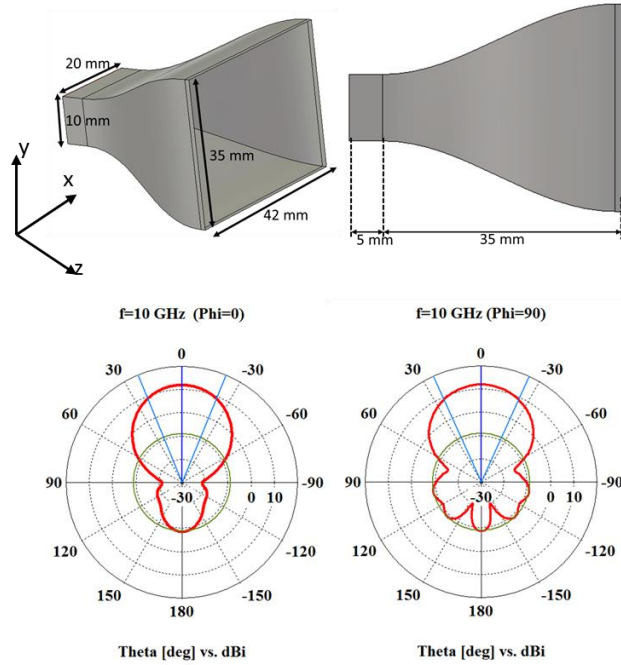
Kare açıklık ve artı geometrisi ile birim eleman tasarımı yapılmış, faz değişimi grafikleri elde edilmiş idi. Bu eleman ile YDA tasarlamak için, Denklem (3.1) ve (3.2) kullanılarak bir Matlab kodu oluşturulmuştur. Bu yazılan kod yardımıyla her bir elemanın faz kayması 10 GHz’ de elde edilmiştir. Elde edilen faz dağılımları Şekil

3.2’ de yer almaktadır. Bu şekilde, her bir hücre, birim elemanın x- ve y- doğrultularındaki bulunduğu konumu göstermektedir. 12 X 12 dizi elemanından oluşan YDA’ nın toplam boyutu, 120 mm X 120 mm (4λ X 4λ) dir.



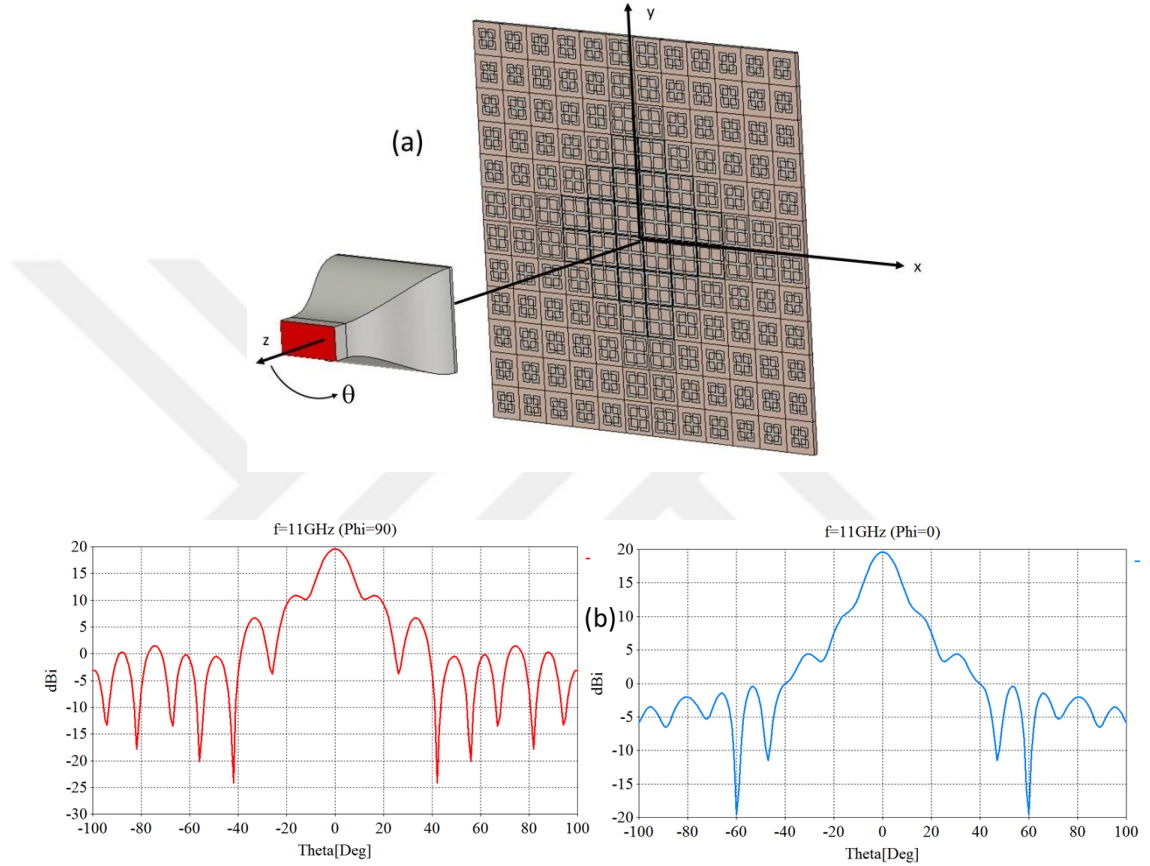
Şekil 3.2. Yansıtıcı dizi antendeki her birim elemanın faz değeri

Yansıtıcı dizi antende besleme olarak kullanılan horn antenin boyutları Şekil 3.3’ de bulunmaktadır. Ayrıca burada, $f=10$ GHz frekansında CST Microwave Studio ile elde edilen ışınma örüntüsü grafikleri de görülmektedir.



Şekil 3.3. Horn anten boyutları ve $f=10$ GHz için ışınma örüntüleri

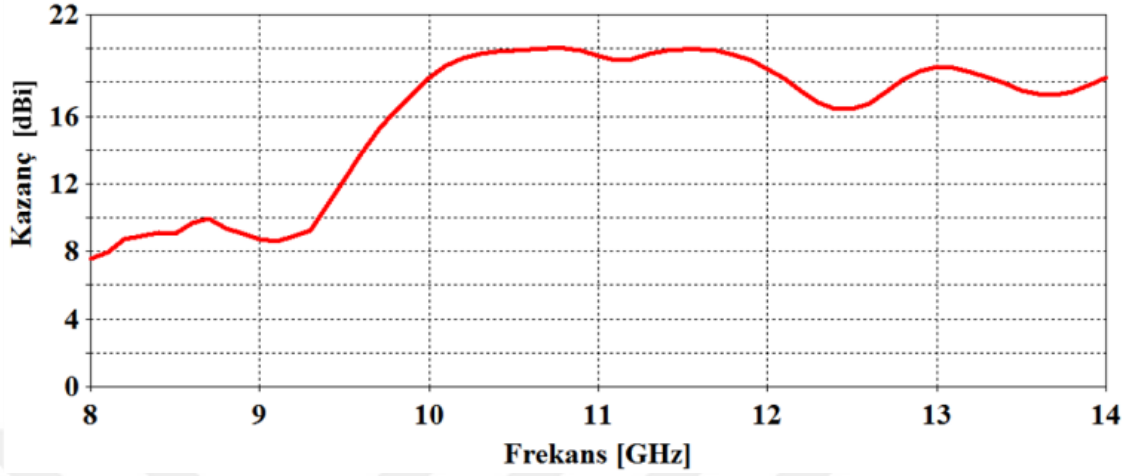
Kaynak anteni YDA' dan 115 mm odak uzaklığına (F) yerleştirilmiştir. Oluşan yapı 0,95 (F/D) oranındadır. 12 x 12 elemanlı YDA anten görüntüsü Şekil 3.4a' da mevcuttur. CST Microwave Studio ile yapılan analizlerde problem uzayının büyüklüğünden dolayı analiz süresini azaltmak amacıyla simetri düzlemi uygulanıp yapının dörtte birinin analizi yapılması sağlanmıştır.



Şekil 3.4. (a) Horn anten ile beslenen YDA, (b) $f=11\text{ GHz}$ ' de E-düzlemi ($\phi=90^\circ$) ve H-düzlemi ($\phi=0^\circ$) ışınma örüntüleri

Şekil 3.4b' de tasarlanan antene ait ışınma örüntüsü grafikleri $f=11\text{ GHz}$ ' de E-düzlemi ($\phi=90^\circ$) ve H-düzlemi ($\phi=0^\circ$) için elde edilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere faz dağılım denklemleri ile elde edilen birim hücre boyutları ile ana hüzmünün $\theta=0^\circ$ olması sağlanmıştır. Bunun yanında, YDA' dan yansıyan ışınımın horn antene çarpması sonucu oluşan çoklu yansımalar yan kulakçıkları oluşturmuştur. E-düzlemi için yan kulakçık seviyesi -8,7 dB iken H-düzleminde -15,2 dB değeri gözlenmektedir. Netice

itibari ile elde edilen frekansa göre kazanç değişimi Şekil 3.5’de yer almaktadır. Tasarlanan bu yapının 1- dB kazanç band genişliği %18 olarak elde edilmiştir [27].

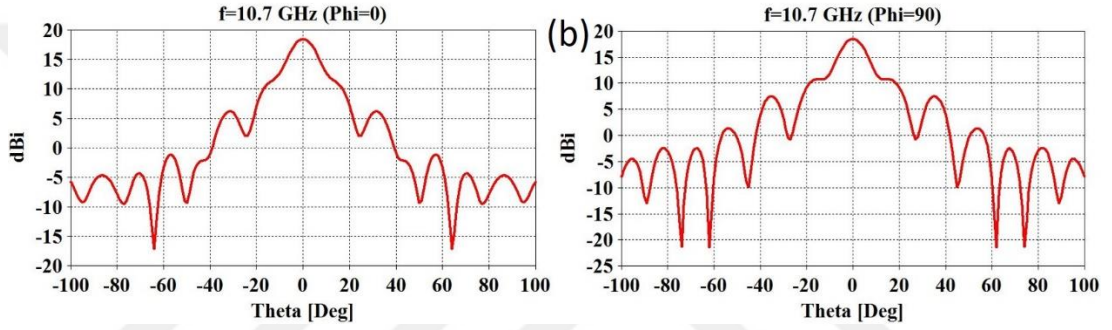
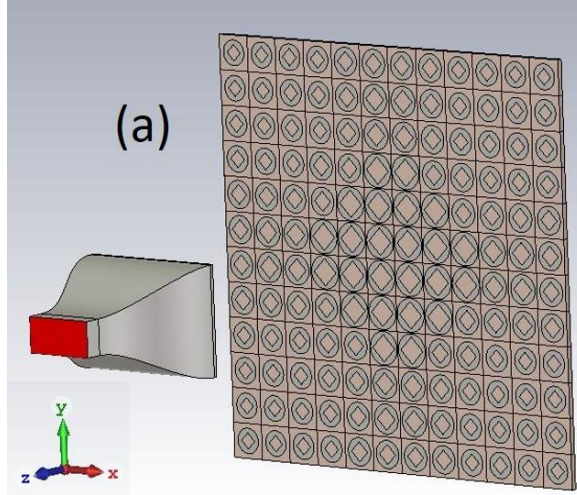


Şekil 3.5. Tasarlanan YDA’ya ait frekansa göre kazanç grafiği

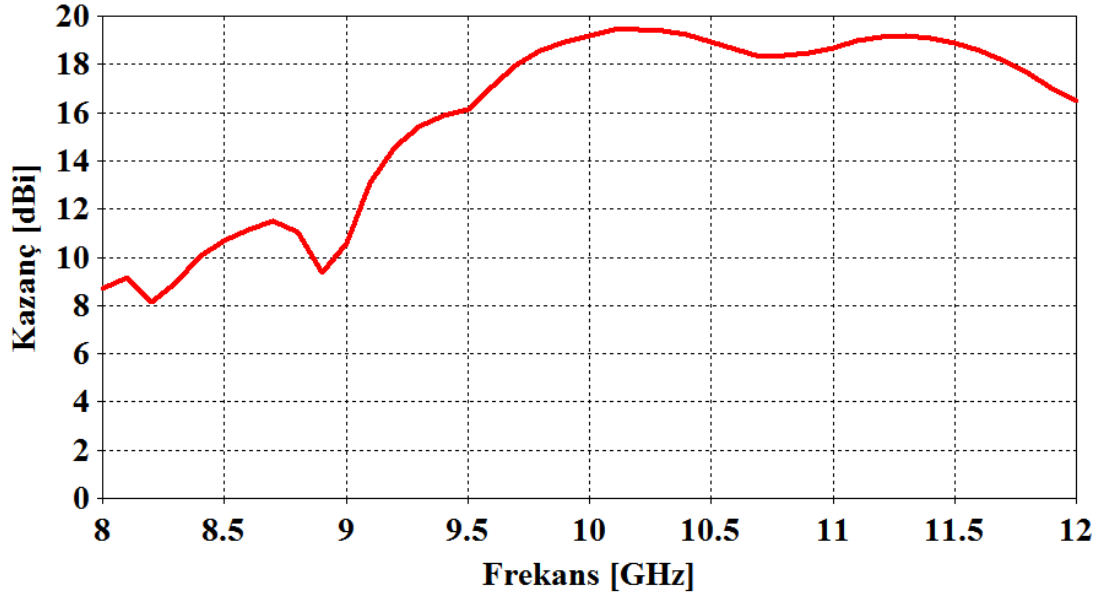
3.2. Dairesel Eşlenik Baklava Geometrili YDA Tasarımı

Dairesel eşlenik baklava geometrisi ile birim eleman tasarımı yapılmış, faz değişimi grafikleri elde edilmiş idi. 12 X 12 dizi elemanından oluşan YDA’ nın toplam boyutu, 120 mm X 120 mm’ dir. Kaynak anteni YDA’ dan 112 mm odak uzaklığına (F) yerleştirilmiştir. Oluşan yapı 0,93 (F/D) oranındadır. 12 x 12 elemanlı YDA anten görüntüsü Şekil 3.6a’ da verilmiştir.

Şekil 3.6b’ de tasarlanan antene ait ışınma örüntüsü grafikleri $f=10,7$ GHz’ de E-düzlemi ($\phi=90^\circ$) ve H-düzlemi ($\phi=0^\circ$) için elde edilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere faz dağılım denklemleri ile elde edilen birim hücre boyutları ile ana hüzmelerin $\theta=0^\circ$ olması sağlanmıştır. Bunun yanında, YDA’ dan yansıyan ışınımın horn antene çarpması sonucu oluşan çoklu yansımalar yan kulakçıkları oluşturmuştur. E-düzlemi için yan kulakçık seviyesi -12,2 dB iken H-düzleminde -7,7 dB değeri gözlenmektedir. Netice itibari ile elde edilen frekansa göre kazanç değişimi Şekil 3.7’ de yer almaktadır. Tasarlanan bu yapının 1- dB kazanç bant genişliği %17 (9,76 GHz – 11,66 GHz) ve 3- dB kazanç bant genişliği %22 (9,53 GHz – 12 GHz) olarak elde edilmiştir [28].



Şekil 3.6. (a) Horn anten ile beslenen YDA, (b) $f=10,7$ GHz’ de E-düzlemi ($\phi=90^\circ$) ve H-düzlemi ($\phi=0^\circ$) ışınma örüntüleri



Şekil 3.7. Tasarlanan YDA’ ya ait frekansa göre kazanç grafiği

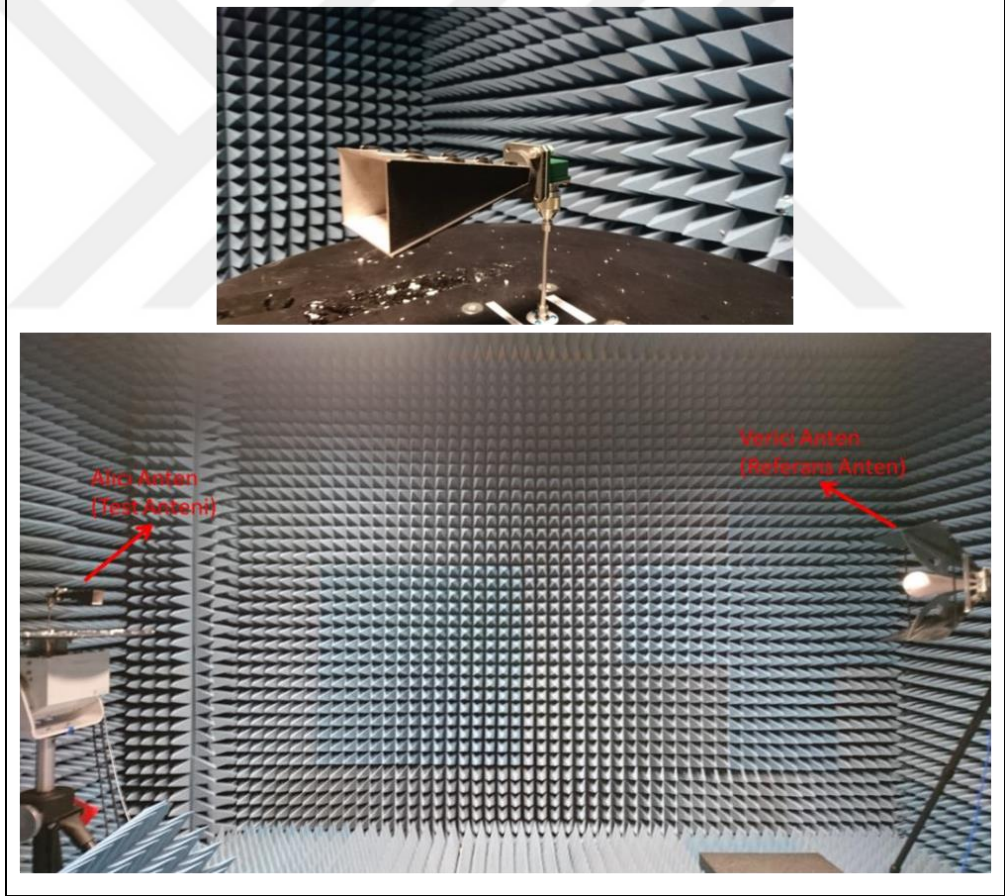
Bu şekilde tasarım aşamaları olan YDA anten için önerilen farklı geometrilerdeki birim hücreler kullanılarak 1- dB kazanç bant genişliği % 20 ve üzeri olan anten tasarımları yapılmış ve gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalara Bulgular bölümünde yer verilecektir.



4.BULGULAR

4.1. YDA Tasarımları, Analizleri ve Ölçümleri

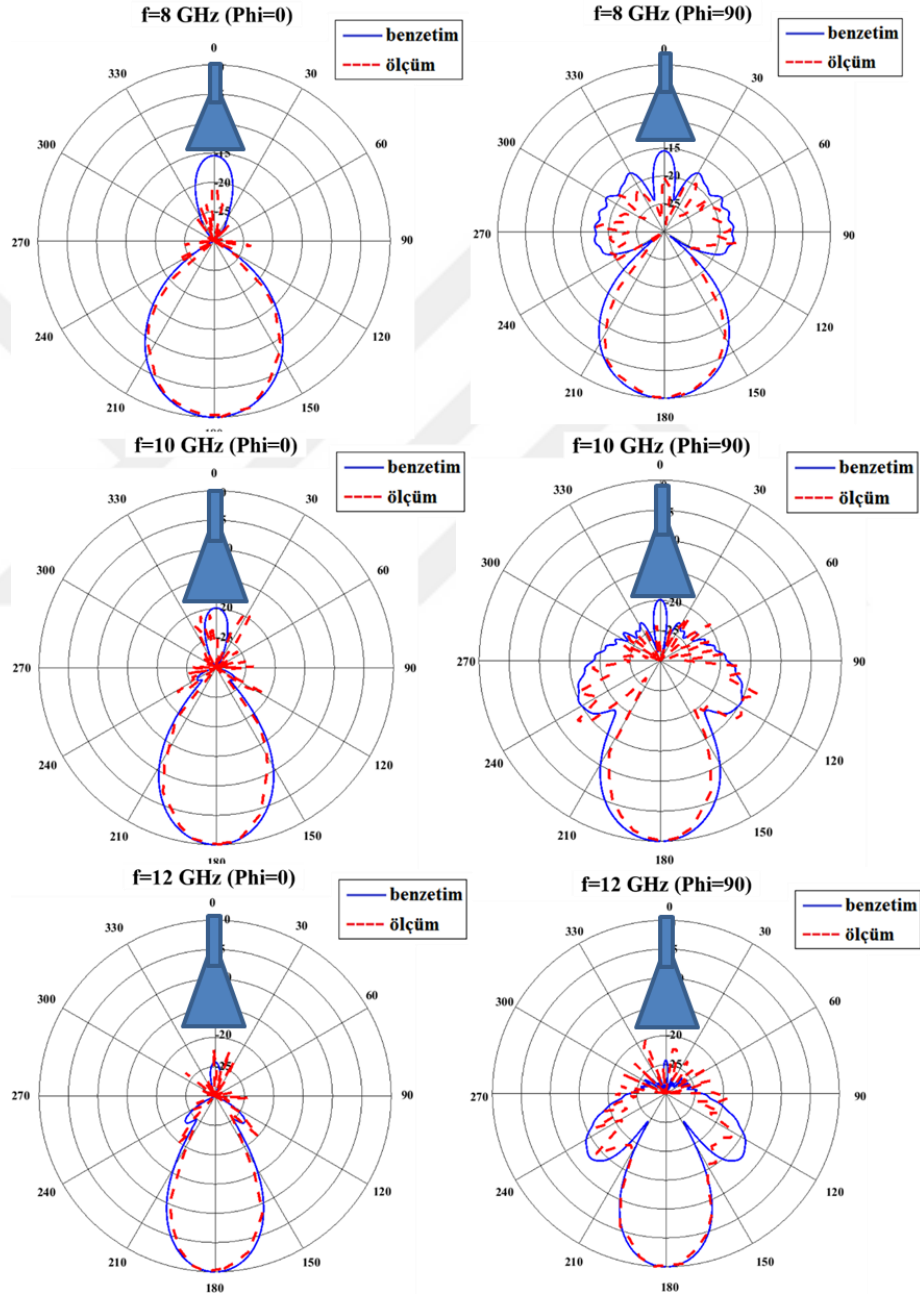
İlk olarak laboratuvarımızda bulunan, YDA tasarımlarında kaynak anteni olarak kullanılan horn antenden bahsedilecektir. Kullanılan anten piramidal horn antendir. Açıklık boyutu 61 mm x 45 mm olup, taper uzunluğu 120 mm' dir. Kullanılan antenin hem CST Microwave Studio ile analizleri yapılmış hem de laboratuvarımızda bulunan 3 m' lik yansısız odada ışınma örüntüsü, kazanç grafikleri elde edilmiştir.



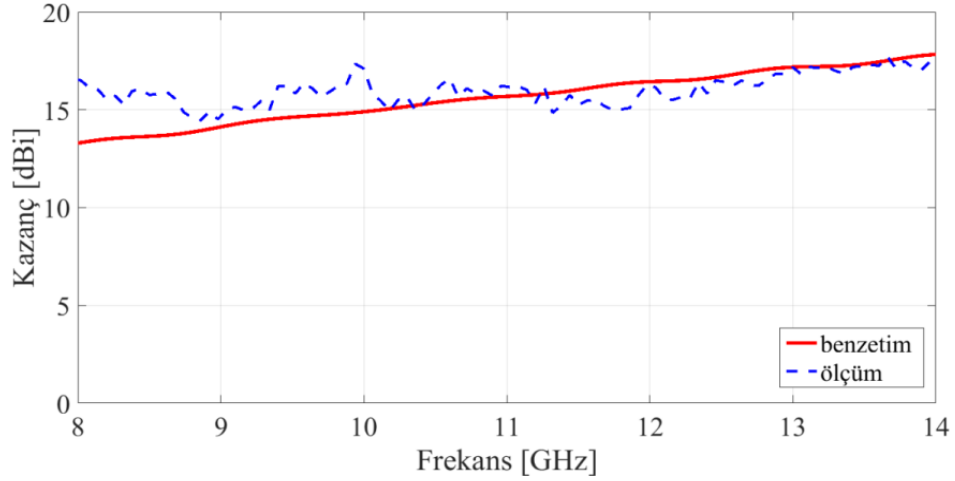
Şekil 4.1. Piramidal horn anten ve ölçüm düzeneği

Yansısız oda 900 MHz - 20GHz frekans aralığı için tasarlanmıştır. Bu ölçümler esnasında verici anten olarak kullanılan Referans antenin kazanç bilgileri, verici-alıcı

anten arasındaki mesafe gibi bilgiler ölçüm düzeneğinde kullanılan arayüzü yüklenmiştir. Böylece ölçümler gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.2’ de ışınma örüntülerinin CST Microwave Studio’da alınan benzetim sonuçları ile karşılaştırması mevcuttur. Şekil 4.3 ’ de ise 8 GHz – 14 GHz frekans aralığı için elde edilen kazanç grafiği mevcuttur. Görüldüğü üzere sonuçlar büyük uyum içerisindedir.



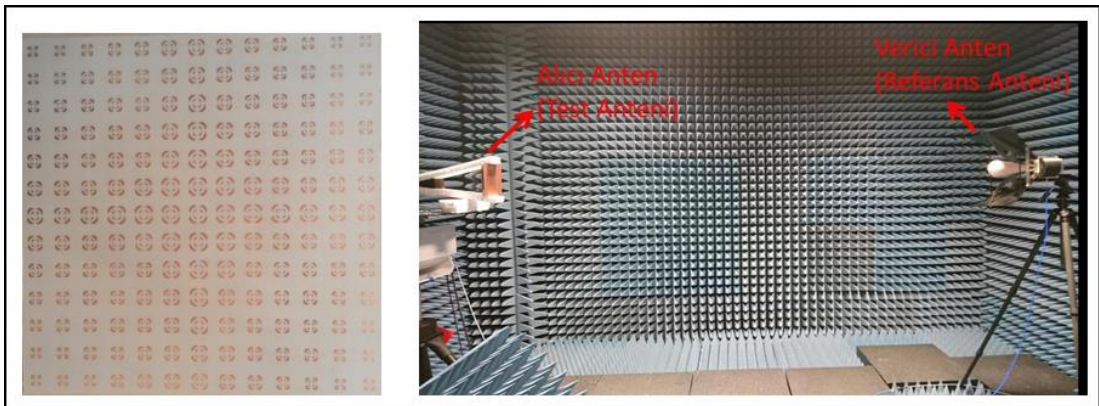
Şekil 4.2. Piramidal horn antenin E-ve H-düzlemindeki normalize ışınma örüntüleri



Şekil 4.3. Ölçüm ve benzetim ile elde edilen frekansa göre kazanç grafiği

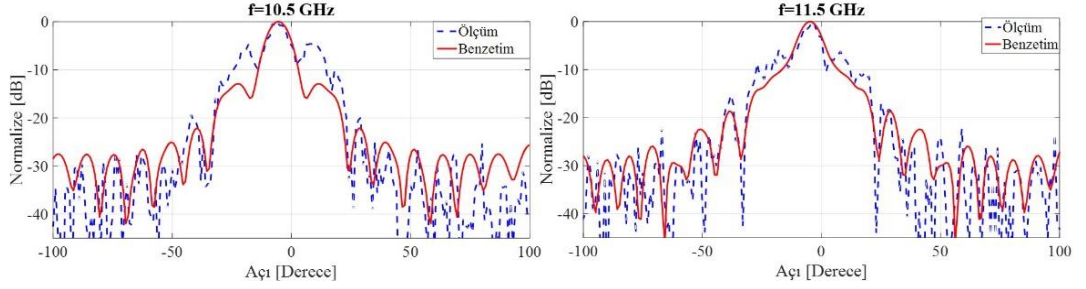
4.1.1. İç içe kesik ring geometrili YDA tasarımı

Şekil 2.8' de birim hücre geometrisi verilen yapı ile YDA tasarımı yapılmıştır. Değişken boyutlu birim elemanlar yöntemi ile yapılan bu tasarımda ana hüzmünün $\theta=0^\circ$ de olması için Denklem (3.1) ve (3.2) kullanılarak eleman boyutları hesaplanmıştır. Elde edilen boyutlar ile 13 x 13 eleman sayısına sahip YDA oluşturulmuştur. Oluşan bu antenin fabrikasyonunda dielektrik katsayısı $\epsilon_r = 6,15$ yüksekliği $h=0,508$ mm olan Arlon firmasına ait TC600 malzemesi kullanılmıştır. Kaynak anteni merkezi besleme yöntemi ile YDA merkezinden 148 mm odak uzaklığına (F) yerleştirilmiştir. Tasarlanan yapının pratik gerçekleştirilmesi yapıp, yansımaz odada ışına örüntüleri elde edilmiştir (Şekil 4.4).

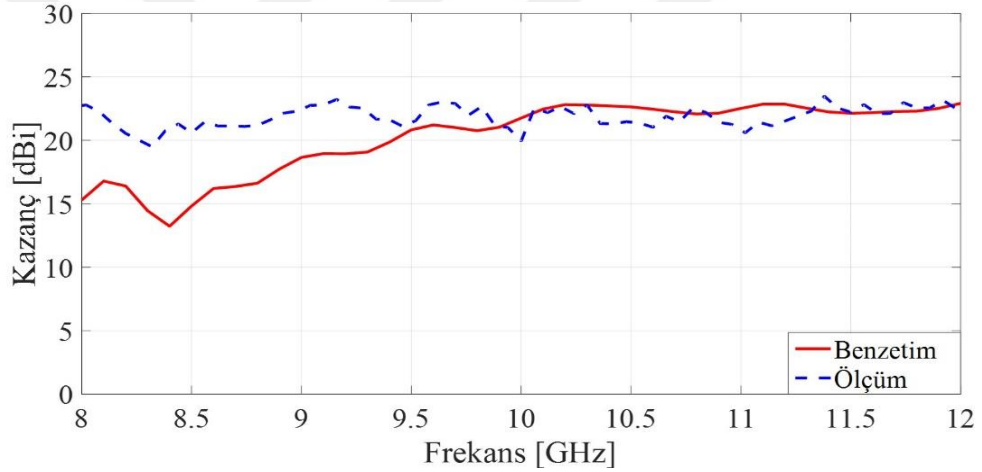


Şekil 4.4. Tasarlanan YDA yapısı ve ölçüm düzeneği

Oluşan yapının $f=10,5$ GHz ve $f=11,5$ GHz’deki ışınma örüntülerinin benzetim ve ölçüm sonuçları Şekil 4.5’de bulunmaktadır. Bu YDA tasarımının, 10 GHz - 12 GHz frekans bandında 1- dB kazanç bant genişliği %18, 9,4 GHz – 12 GHz frekans bandında 3- dB kazanç bant genişliği %24’ tür (Şekil 4.6).



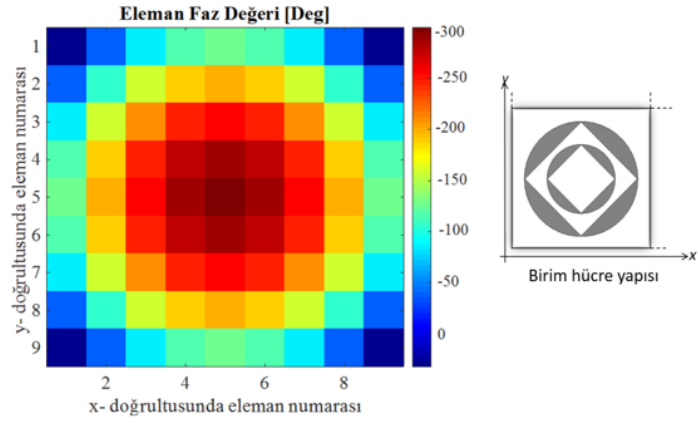
Şekil 4.5. Ölçüm ve benzetim ile elde edilen H-düzlemindeki ($\phi=0^\circ$) ışınma örüntüleri ($f=10,5$ GHz ve $f=11,5$ GHz)



Şekil 4.6. Ölçüm ve benzetim ile elde edilen frekansa göre kazanç değişimi

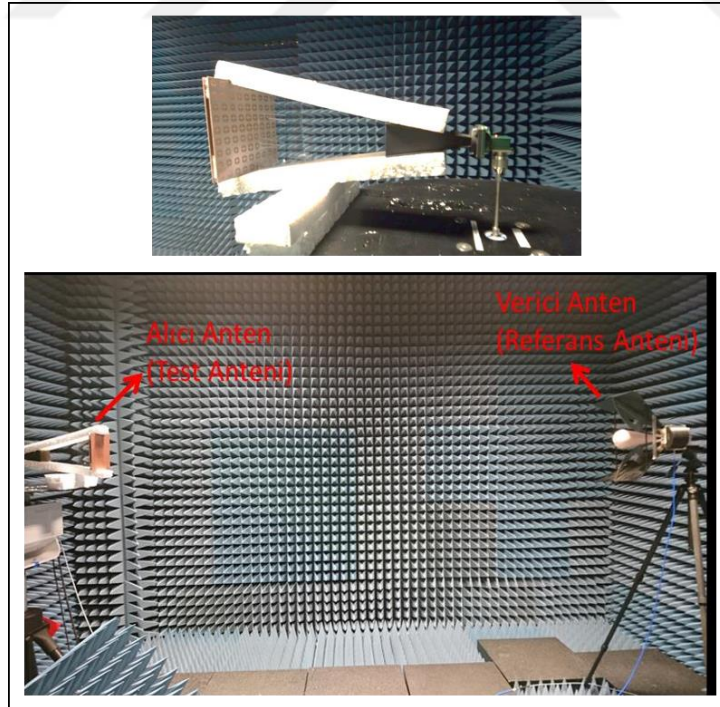
4.1.2. Çift eşlenik baklava yama geometrili YDA tasarımı

Daha önce birim hücre tasarımı yapılan Şekil 2.10’deki yapı kullanılarak YDA tasarımı yapılmıştır. Bu tasarımda Denklem (3.1) ve (3.2) kullanılarak her bir elemanın faz kayması 10 GHz’de elde edilmiştir. Elde edilen faz dağılımları Şekil 4.7’de yer almaktadır. Birim hücre boyutu 17 mm X 17 mm olan, 9 X 9 dizi elemanından oluşan YDA’nın toplam boyutu, 153 mm X 153 mm ($5,1\lambda$ X $5,1\lambda$) dir.



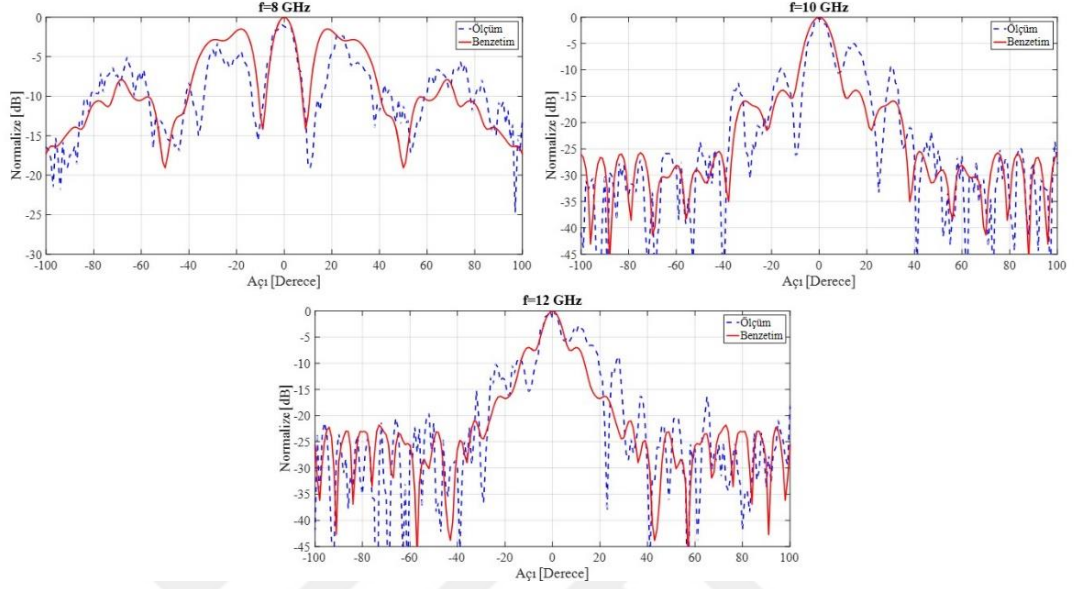
Şekil 4.7. Yansıtıcı dizi antendeki her birim hücrenin faz değeri

YDA beslemesi için ölçümleri gerçekleştirilen piramidal horn anten kullanılmıştır. Tasarımda horn anten YDA’ dan 193 mm odak uzaklığına (F) yerleştirilmiştir. Oluşan yapı 1,26 (F/D) oranındadır. Pratik fabrikasyonunda dielektrik geçirgenliği $\epsilon_r = 3$, yüksekliği $h=1,524$ mm olan Arlon 300A tabakası kullanılmıştır. Bu tabakanın arkasına 5,5 mm’ lik hava boşluğu bırakarak toprak tabakası yerleştirilmiştir. Yansımaz odada referans anten ile ölçümler gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.8).



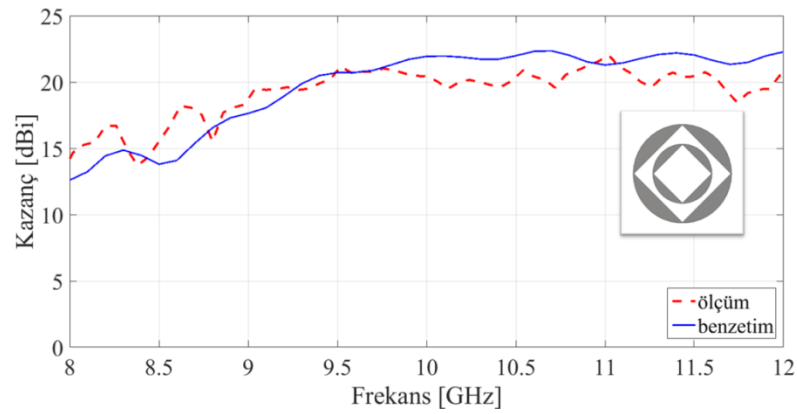
Şekil 4.8. Tasarlanan YDA yapısı ve ölçüm düzeneği

Yaptığımız ölçüm sonuçları Şekil 4.9 ve 4.10' de bulunmaktadır. Yapılan ölçümler ile H-düzlemi ($\phi=0^\circ$) için sonuçlar elde edilmiştir. $f=8$ GHz, 10 GHz ve 12 GHz için elde edilen H-düzlemi ışınma örüntüsü grafikleri Şekil 4.9' de yer almaktadır.



Şekil 4.9. $f=8$, 10 ve $f=12$ GHz' de H-düzlemi ($\phi=0^\circ$) ışınma örüntüleri benzetim ve ölçüm grafikleri

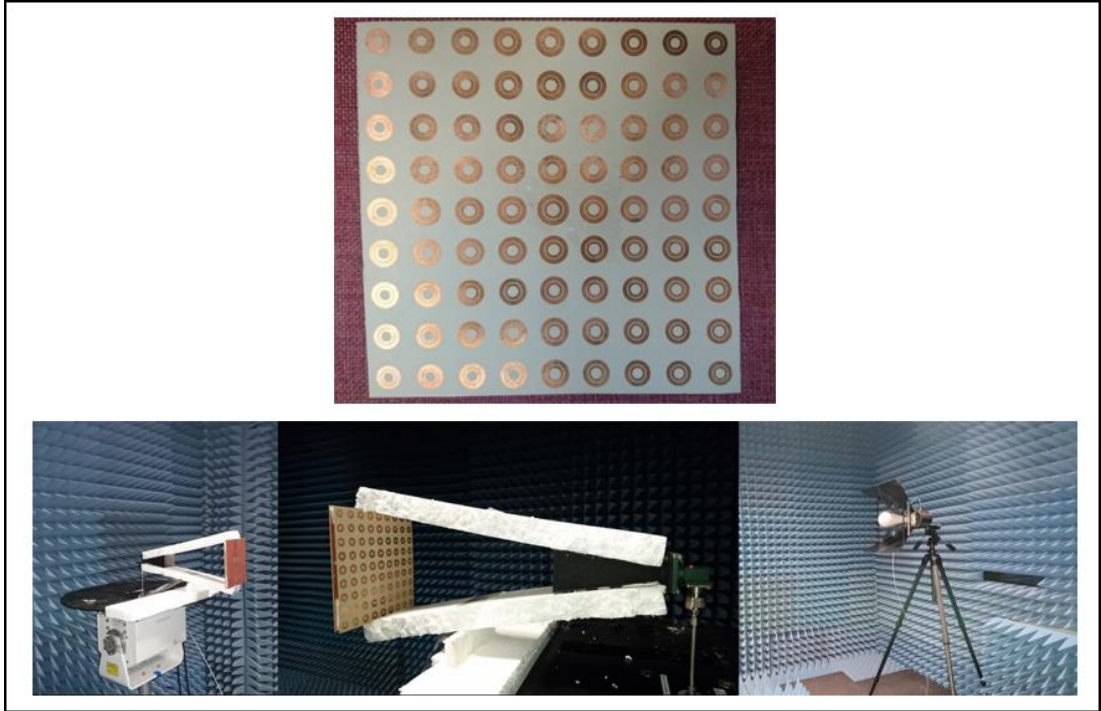
Bu ölçüm sonucunda elde edilen kazanç grafiği Şekil 4.10' de yer almaktadır. 1- dB kazanç bant genişliğinin yaklaşık %20 olduğu ölçüm ve benzetim sonuçlarından görülmektedir.



Şekil 4.10. Ölçüm ve benzetim ile elde edilen frekansa göre kazanç grafiği

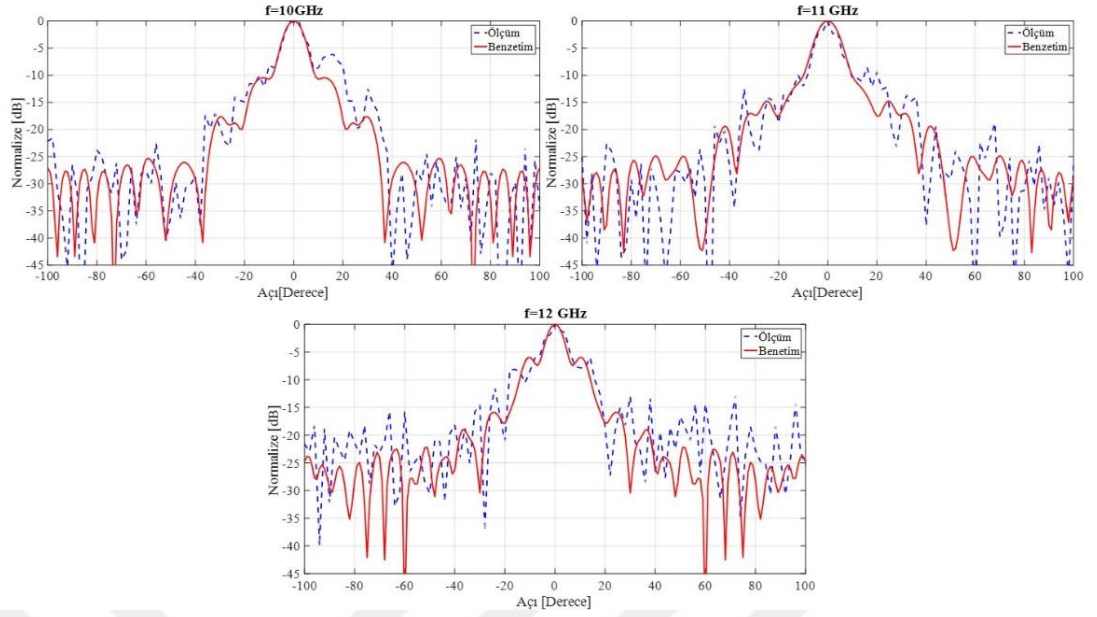
4.1.3. Çift dairesel halka geometrili YDA tasarımı

Şekil 2.11’ de birim hücre geometrisi verilen yapı ile YDA tasarımı yapılmıştır. Değişken boyutlu birim elemanlar yöntemi ile yapılan bu tasarımda ana hüzmünün $\theta=0^\circ$ ’ de olması için Denklem (3.1) ve (3.2) kullanılarak eleman boyutları hesaplanmıştır. Elde edilen boyutlar ile 9 x 9 eleman sayısına sahip YDA oluşturulmuştur. Oluşan bu antenin fabrikasyonunda dielektrik katsayısı $\epsilon_r = 6,15$ yüksekliği $h=0,508$ mm olan Arlon firmasına ait TC600 malzemesi kullanılmıştır. Kaynak anteni merkezi besleme yöntemi ile YDA merkezinden 264 mm odak uzaklığına (F) yerleştirilmiştir. Tasarlanan yapının pratik gerçekleştirilmesi yapıp, yansısız odada ışınma örüntüleri elde edilmiştir (Şekil 4.11).



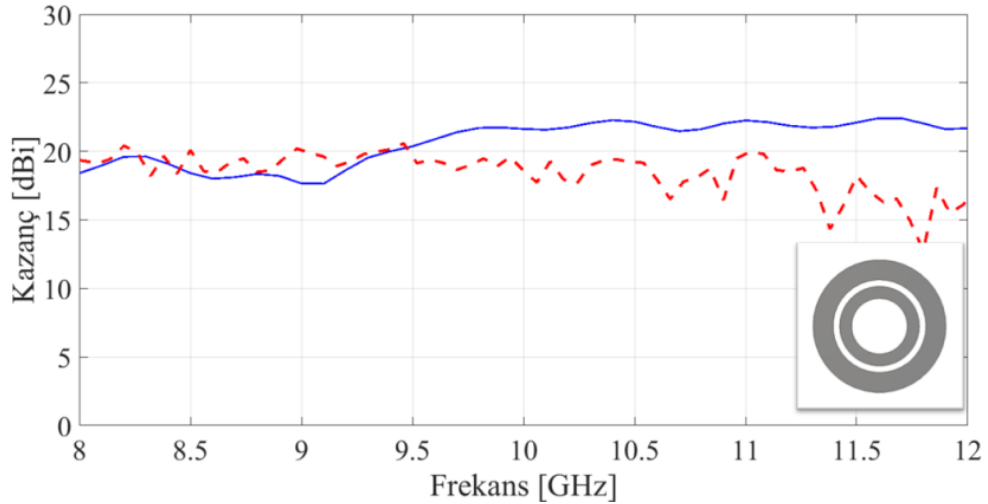
Şekil 4.11. YDA ve yansısız odada ölçüm düzeneği fotoğrafı

Oluşan yapının $f=10$ GHz, $f=11$ GHz ve $f=12$ GHz’ deki ışınma örüntülerinin benzetim ve ölçüm sonuçları Şekil 4.12’ de bulunmaktadır. Bu YDA tasarımının, 9,72 GHz - 12 GHz frekans bandında 1- dB kazanç bant genişliği Şekil 4.13’den de gözlendiği üzere %20’ dir.



Şekil 4.12. $f = 10$ GHz, $f = 11$ GHz ve $f = 12$ GHz' de E-düzlemi ($\phi = 90^\circ$) ışınma örüntüleri benzetim ve ölçüm grafikleri

Bu ölçüm sonucundan elde edilen kazanç grafiğinin, benzetim ile uyuşmadığı bölgeler görülmektedir. Bunun fabrikasyon hatasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Özellikle faz karakteristiği ile elde edilen her bir eleman boyutunun farklı olduğu bu tip uygulamalarda fabrikasyon önem taşımaktadır [29].

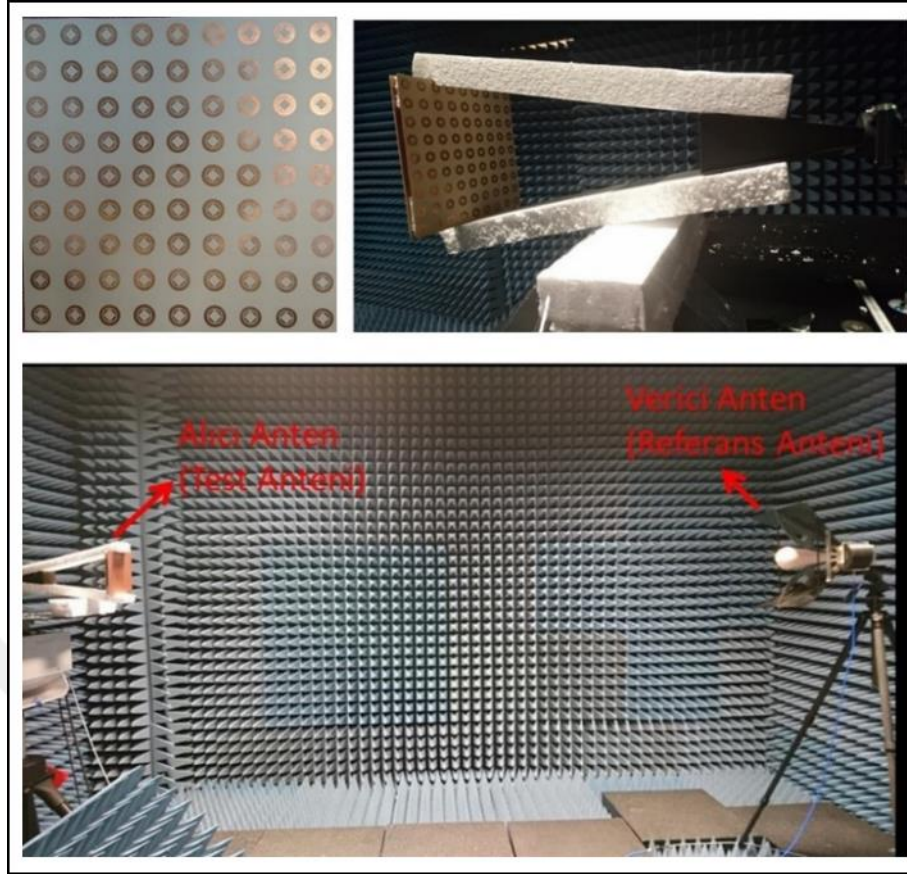


Şekil 4.13. Ölçüm ve benzetim ile elde edilen frekansa göre kazanç grafiği

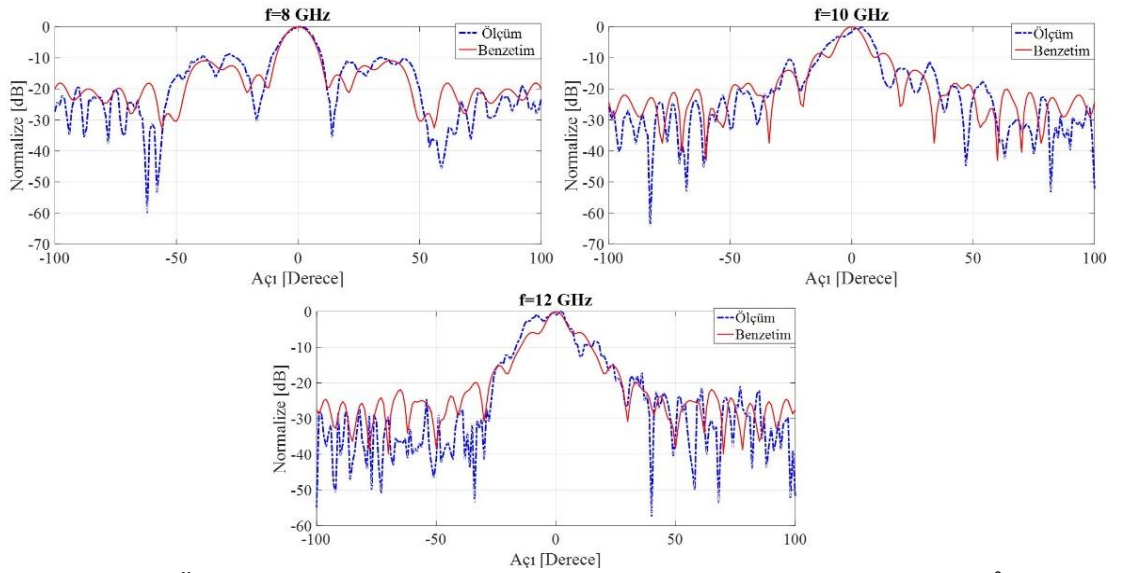
4.1.4. Dairesel yama ve eşlenik baklava geometrili YDA tasarımı

Şekil 2.13' de yer alan birim hücre geometrisi ile tasarım yapılmıştır. Ana hüzmenden $\theta=0^\circ$ de olması arzu edilerek eleman boyutları hesaplanmıştır. Elde edilen boyutlar ile 9 x 9 eleman sayısına sahip 144 mm x 144 mm' lik karesel alanda YDA oluşturulmuştur. Merkezi besleme ile YDA' nın merkezinden 246 mm uzağa piramidal horn anten yerleştirilmiştir. CST Microwave Studio' nun zaman düzlemi analizi ile yapının analizi yapılmıştır. Benzetim sonuçlarından her iki düzlem için yan kulakçık seviyesi yaklaşık -12,9 dB, 3dB hüzmeye genişlikleri ise 10 GHz frekansında $10,3^\circ$ ve $9,2^\circ$ dir.

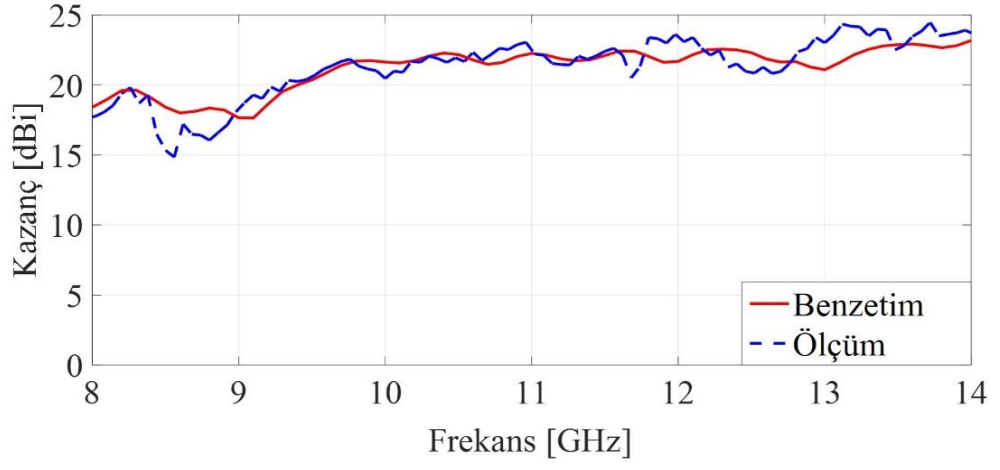
Analiz sonuçlarını doğrulamak için yansıtıcı dizi antenin üretimi gerçekleştirildi. Dielektrik geçirgenliği 6,15, yüksekliği 0,508 mm olan Arlon markalı TC600 tabakası üretim aşamasında kullanılmıştır. Şekil 4.14' de üretimi yapılan YDA ve ölçüm düzeneğinin fotoğrafı mevcuttur. Şekilden de görüldüğü üzere YDA merkezi besleme ile horn anten tarafından beslenmiştir. Ölçümler yansımatsız odada gerçekleştirilmiştir. Ölçüm düzeneğinde düşük kayıplı koaksiyel kablolar ile bağlantısı yapılan Rohde & Schwarz ZVB 20 vektör network analizörü (VNA) kullanılmıştır. Işıma örüntüleri E- düzlemi ($\phi=90^\circ$) için $f=8$ GHz, $f=10$ GHz ve $f=12$ GHz' de ölçülmüştür (Şekil 4.15). Ana hüzmenden $\theta=0^\circ$ olduğu gözlenmektedir. Şekillerden de görüldüğü üzere ölçülen yan kulakçık seviyeleri benzetim sonuçlarından büyüktür. Bunun sebebi hem ölçüm ve pratik imalattan gelen hatalar hem de kaynak anteninden geri saçılmalar olarak söylenebilir. Fakat bunun haricinde elde edilen sonuçlar oldukça uyumludur. Ayrıca frekansa göre kazanç değişimi de elde edilmiştir. Maksimum kazanç değeri 10,5 GHz frekansında 21,603 dB, 1- dB kazanç bant genişliği %23 iken 3- dB kazanç bant genişliği ise %29 olarak bulunmuştur (Şekil 4.16).



Şekil 4.14. Üretimi yapılan YDA ve ölçüm düzeneğine ait fotoğraf



Şekil 4.15. Ölçüm ve benzetim ile elde edilen E-düzlemindeki ($\phi=90^\circ$) ışınma örüntüleri (f=8 GHz, f=10 GHz ve f=12 GHz)



Şekil 4.16. Ölçüm ve benzetim ile elde edilen frekansa göre kazanç değişimi

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında mikroşerit yansıtıcı dizi antenler anlatılmaktadır. Bu kapsamda özgün yansıtıcı dizi antenler tasarlanıp, tasarım aşamaları detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Tasarlanan YDA' lardan bir kısmının pratiği yapılarak ışıma örüntüleri ve frekansa göre kazanç değişimlerinin ölçüm ve benzetim sonuçları karşılaştırılmıştır.

Çalışmalarımızda ilk önce birim eleman tasarlanmış ve bunların analizleri yapılmıştır. Seçilen bir parametrenin değişimiyle faz değişimi grafikleri elde edilmiştir. Bu tez çalışmasında birim hücrelerin "faz değişim" grafiklerini elde etmek için dalga kılavuzu modeli seçilmiştir. Birim eleman faz değişimi karakteristiğinin iki özelliği tasarımın temel taşlarını oluşturmaktadır. Birincisi mutlak faz değişimi aralığının mümkün olduğunca 360^0 den geniş olmasıdır. İkincisi ise faz değişimi grafiği eğiminin mümkün olduğunca düşük olmasıdır. Bu eğim, geniş bantlı yansıtıcı dizi anten tasarımlarının pratik gerçeklemlerinde ortaya çıkan mekanik toleransı gösteren bir parametredir. Bu değerin düşük olması pratik gerçeklemlerden kaynaklı hataları minimize eder. Bunun yanında, eğiminin düşük olması tasarım bandının da geniş olmasını sağlar.

Genel olarak bakacak olursak, tasarıma başlamadan önce uygun birim eleman geometrisi seçilmeli ve seçilen bu geometri için uygun dielektrik malzemeli ve kalınlıklı alt taşa karar verilmelidir.

Bu tez kapsamında farklı tür malzeme ve farklı kalınlıklarla, çeşitli geometrilere özgün birim elemanlar tasarlanmıştır. Tasarlanan bu yapıların faz değişimi grafikleri incelenip geniş bant yansıtıcı dizi anten kriterlerini sağlayabilecekler dizi haline getirilmeye karar verilmiştir.

Tasarımın bir diğer aşamasında faz ihtiyacının tespiti sorunu ele alınmış ve kaynaktan gelen küresel dalganın düzlemsel bir dalgaya dönüştürülmesi yani her bir birim eleman

için ihtiyaç duyulan faz gecikmesini sağlamak için küresel yaklaşım yapılmıştır. Bu yaklaşım sayesinde her bir koordinat için faz ihtiyaçları formüle edilmiş faz bilgisi hesaplanmıştır. Bir önceki adımda elde edilen faz değişimi grafiği ve küresel yaklaşım yardımıyla yazılan bir MATLAB kodu sayesinde her bir birim eleman için uygun faz gecikmesini sağlayacak birim eleman yama boyutları belirlenmiştir.

Tasarım yöntemi olarak; gerekli faz gecikmesini sağlamak amacıyla değişken boyutlu yamalardan oluşan birim elemanlar kullanılmış ve yansıtıcı dizisi oluşturulmuştur. Oluşturulan dizi piramidal horn antenle beslenmiştir. Yapılan değişik tasarımlarla, arzu edilen yönde hüzme yönlendirilmeye ve 1- dB kazanç bant genişliği maximum yüzdeye çıkarılmaya çalışılmıştır.

Tez kapsamında tasarlanan yansıtıcı dizi antenlerin analizleri CST Microwave Studio' da yapılmıştır. Analiz sonucunda farklı frekanslarda ışınma örüntüsü grafikleri ve X-Bant' ta kazanç eğrisi grafiği elde edilmiştir. Genel olarak 1-dB kazanç bant genişliği %20 ve üzerindeki çalışmaların pratiği yapılmıştır. Pratiği yapılan yansıtıcı dizi antenlerin ölçümleri Kocaeli Üniversitesi Mikrodalga ve Anten Laboratuvarında bulunan tam yansımaz odada gerçekleştirilmiştir. Benzetim ve ölçüm sonuçları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçları ele alındığında ölçüm ve benzetim sonuçlarının uyum içerisinde birbirini takip ettiği gözlemlenmiştir. Oluşan küçük farklılıklarının fabrikasyon ve ölçüm hata payından kaynaklanabileceği kanısına varılmıştır.

Tezimiz kapsamında yaptığımız çalışmaların ülke çapında yararlı olmasını temenni ederim. Yansıtıcı dizi antenlerin kazanç bant genişliklerinin artırılması için birim hücre tasarım adımları dikkate alınarak farklı geometri ile oluşturulan dizilerle sağlanabileceğini önermekteyiz.

KAYNAKLAR

- [1] Huang J. and Encinar J. A., *Reflectarray Antennas*, IEEE Press/Wiley, Piscataway-NJ (USA), 2008.
- [2] Huang J., Capabilities of Printed Reflectarray Antennas, *IEEE Int. Symp. Phased Array Systems and Technology*, Boston, MA, USA, 15-18 October 1996.
- [3] Guo Y. J. and Barton S. K., Phase Efficiency of The Reflective Array Antenna, *IEEE Proc. Microw. Antennas Propag.*, 1995, **142**, 115–120.
- [4] Li L., Chen Q., Yuan Q., Sawaya K., Maruyama T., Furuno T. and Uebayashi S., Frequency Selective Reflectarray Using Crossed-Dipole Elements With Square Loops For Wireless Communication Applications, *IEEE Trans. Antennas Propag.*, 2011, **59**(1), 89-99.
- [5] Li L., Chen Q., Yuan Q., Sawaya K., Maruyama T., Furuno T. and Uebayashi S., Novel Broadband Planar Reflectarray With Parasitic Dipoles For Wireless Communication Applications, *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, 2009, **8**, 881-885.
- [6] Li Y. and Li L., Broadband Microstrip Beam Deflector Based on Dual-Resonance Conformal Loops Array, *IEEE Trans. Antennas Propag.*, 2014, **62**(6), 3028–3034.
- [7] Huang J., Bandwidth Study of Microstrip Reflectarray and A Novel Phased Reflectarray Concept, *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, California, USA, 18-23 June 1995.
- [8] Pozar D. M., Bandwidth of Reflectarrays, *Electronics Letters*, 2003, **39**(21), 1490-1491.
- [9] Bialkowski M. E. and Sayidmarie K. H., Bandwidth Considerations For A Microstrip Reflectarray, *Progress In Electromagnetics Research B*, 2008, **3**, 173-187.
- [10] Encinar J. A., Design of Two-Layer Printed Reflectarrays Using Patches of Variable Size, *IEEE Trans. Antennas Propag.*, 2001, **49** (10), 1403–1410.
- [11] Encinar J. A. ve Zornoza J. A., Broadband Design of Three-Layer Printed Reflectarrays, *IEEE Trans. Antennas Propag.*, 2003, **51**(7), 1662–1664.

- [12] Misran N., Cahill R. and Fusco V., Design Optimisation of Ring Elements For Broadband Reflectarray Antennas, *IEEE Proc. Microwaves, Antennas Propag.*, 2003, **150**(6), 440-444.
- [13] Carrasco E., Encinar J. A. and Barba M., Bandwidth Improvement in Large Reflectarrays by Using True-Time Delay, *IEEE Trans. Antennas Propag.*, 2008, **56**(8), 2496-2503.
- [14] Pozar D., Targonski S. D. and Syrigos H. D., Design of Millimeter Wave Microstrip Reflectarray, *IEEE Trans. Antennas Propag.*, 1997, **45**, 286–295.
- [15] Ren L.-S., Jiao Y.-C., Li F., Zhao J.-J. and Zhao G., A Novel Double-Petal Loop Element For Broadband Reflectarray, *Progress In Electromagnetics Research Letters*, 2011, **20**, 157-163.
- [16] Dieter S., Fischer C. and Menze, W., Single-Layer Unit Cells With Optimized Phase Angle Behavior, *Proc. 3rd Eur. Conf. on Antennas and Propagation, EuCAP*, Berlin, Germany, 23-27 March 2009.
- [17] DeVita P., Freni A., Dassano G. L., Pirinoli P. and Zich R. E., Broadband Element For High-Gain Single-Layer Printed Reflectarray Antenna, *Electron. Lett.*, 2007, **43**(23), 1247–1249.
- [18] Chaharmir M. R., Shaker J., Cuhaci M. and Ittipiboon A., Broadband Reflectarray Antenna With Double Cross Loops, *Electron. Lett.*, 2006, **42**(2), 65–66.
- [19] Pozar D. M. and Metzler T. A., Analysis of A Reflectarray Antenna Using Microstrip Patches of Variable Size, *Electronics Letters*, 1993, **29**(8), 657-658.
- [20] Berry D., Malech R. and Kennedy W., The Reflectarray Antenna, *IEEE Trans. Antennas Propag.*, 1963, **11**, 645-651.
- [21] Phelan H. R., Spiralphase Reflectarray for Multitarget Radar, *Microwave Journal*, 1997, **20**, 67-73.
- [22] Malagisi C. S., Microstrip Disc Element Reflect Array, *Electronics and Aerospace Systems Convention*, Arlington, Texas, USA, 25-27 September 1978.
- [23] Montgomery J. P., A Microstrip Reflectarray Antenna Element, *Antenna Applications Symposium (University of Illinois)*, Urbana, Illinois, 20-22 September 1978.
- [24] Bozzi M., Germani S. and Perregrini L., Performance Comparison of Different Element Shapes Used in Printed Reflectarrays, *Antennas and Wireless Propagation Letters*, 2003, **2**(1), 219-222.

- [25] Misran N., Cahill R. and Fusco V., Reflection Phase Response of Microstrip Stacked Ring Elements, *Electronics Letters*, 2002, **38**(8), 356-357.
- [26] Çakır G., Dizi Antenler, <http://ehm.kocaeli.edu.tr/duyuru/dosyalar/1116/Dizi-Antenler.pdf> (Ziyaret tarihi: 07.08.2017).
- [27] Bodur H., Ünalđı S., Çimen S., Çakır G., A Novel Broadband Single-Layer Reflectarray Antenna Design For X-Band Application, *2nd International Conference on Engineering and Natural Sciences*, Sarajevo, Bosnia-Herzegovina, 24-28 May 2016.
- [28] Bodur H., Ünalđı S., Çimen S., Çakır G., A New Broadband Reflectarray Antenna With Modified Circular Patch, *5th International Conference on Advanced Technology & Sciences*, İstanbul, Turkey, 9-12 May 2017.
- [29] Bodur H., Ünalđı S., Çimen S., Çakır G., X-Bant Uygulamalar için Tek Katmanlı Geniş Bant Yansıtıcı Dizi Anten Tasarımı, *URSI-TÜRKİYE'2016 VIII. Bilimsel Kongresi*, Ankara, Türkiye, 1-3 Eylül 2016.

KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER

- [1] **Bodur H.**, Ünalđı S., Çimen S., Çakır G., A Novel Broadband Single-Layer Reflectarray Antenna Design For X-Band Applications, *2nd International Conference on Engineering and Natural Sciences (ICENS'2016)*, Sarajevo, Bosnia-Herzegovina, 24-28 May 2016.
- [2] Ünalđı S., **Bodur H.**, Çimen S., Çakır G., A Novel Dual-Band FSS Reflector for RCS Reduction, *2nd International Conference on Engineering and Natural Sciences (ICENS'2016)*, Sarajevo, Bosnia-Herzegovina, 24-28 May 2016.
- [3] **Bodur H.**, Ünalđı S., Çimen S., Çakır G., X-Band Uygulamalar İçin Tek Katmanlı Geniş Bant Yansıtıcı Dizi Anten Tasarımı, *URSI-Türkiye'2016 VIII. Bilimsel Kongresi (URSI'2016)*, Ankara, Türkiye, 1-3 Eylül 2016.
- [4] **Bodur H.**, Ünalđı S., Çimen S., Çakır G., A Novel Reflectarray Antenna Backed With Double Layer FSS for RCS Reduction, *2017 International Applied Computational Electromagnetics Society (ACES) Symposium*, Florence, Italy, 26-30 March 2017.
- [5] **Bodur H.**, Ünalđı S., Çimen S., Çakır G., A New Broadband Reflectarray Antenna With Modified Circular Patch, *5th International Conference on Advanced Technology & Sciences (ICAT'2017)*, İstanbul, Turkey, 9-12 May 2017.
- [6] Ünalđı S., **Bodur H.**, Çimen S., Çakır G., Design of X-Band Single Layer Reflectarray With Novel Element, *5th International Conference on Advanced Technology & Sciences (ICAT'2017)*, İstanbul, Turkey, 9-12 May 2017.

ÖZGEÇMİŞ

1993 yılında Ankara'nın Beypazarı ilçesinde doğdu. Lise öğrenimini Kdz. Ereğli Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2011 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü'nden 2015 yılında Elektronik ve Haberleşme Mühendisi olarak mezun oldu. 2015 yılında başladığı Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimine devam etmektedir. 2016 yılından beri Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesinde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.

