

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

YÜZEY UYUMLU DAİRESEL DİZİ ANTEN ANALİZ VE TASARIMI

KORAY SÜRMELİ

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

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. AHMET KIZILAY**

İSTANBUL, 2012

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

YÜZEY UYUMLU DAİRESEL DİZİ ANTEN ANALİZ VE TASARIMI

KORAY SÜRMELİ

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

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. AHMET KIZILAY**

İSTANBUL, 2012

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜZEY UYUMLU DAİRESEL DİZİ ANTEN ANALİZ VE TASARIMI

Koray SÜRMELİ tarafından hazırlanan tez çalışması 27.06.2012 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

Doç. Dr. Ahmet KIZILAY

Yıldız Teknik Üniversitesi

Eş Danışman

Doç. Dr. Bahattin TÜRETKEN

TÜBİTAK – BİLGEM - UEKAE

Jüri Üyeleri

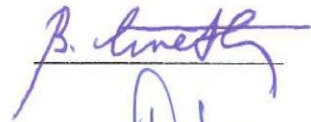
Doç. Dr. Ahmet KIZILAY

Yıldız Teknik Üniversitesi



Doç. Dr. Bahattin TÜRETKEN

TÜBİTAK – BİLGEM – UEKAE



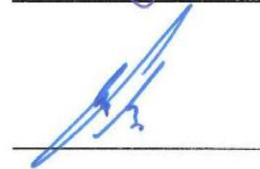
Prof. Dr. Nurettin UMURKAN

Yıldız Teknik Üniversitesi



Yrd. Doç. Dr. Salih DEMİREL

Yıldız Teknik Üniversitesi



Yrd. Doç. Dr. Taha İMECİ

İstanbul Ticaret Üniversitesi



ÖNSÖZ

Yapmış olduğum bu tez çalışması boyunca her türlü desteği sağlayan, birlikte çalışmaktan büyük mutluluk duyduğum değerli hocalarım Doç. Dr. Ahmet KIZILAY ve Doç. Dr. Bahattin TÜRETKEN'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca tez süreci boyunca yanımda olan aileme ve arkadaşlarıma da sonsuz teşekkürler.

Mayıs, 2012

Koray SÜRMELİ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vi
KISALTMA LİSTESİ.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT.....	xiii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	2
1.3 Hipotez	3
BÖLÜM 2	
DİZİ ANTENLER.....	4
2.1 Patern Çarpım İlkesi	5
2.2 Düzgün Doğrusal Diziler	6
2.3 Doğrusal Dizilerin Temel Özellikleri	7
2.3.1 Ana Demet Doğrultusu	7
2.3.2 Sıfır Konumları.....	7
2.3.3 Yarım Güç Hüzme Genişliği.....	7
2.3.4 Yan Kulakçık Konumları	7
2.3.5 İlk Yan Kulakçık Seviyesi	8
2.3.6 Görünür Bölge.....	8
2.3.7 Izgara Kulakçıklar.....	8
2.4 Düzlemsel Diziler.....	9

2.4.1	Düzlemsel Diziler için Dizi Faktörü ve Işıma Diyagramı	9
2.5	Dairesel Diziler	10
2.6	Silindirik Diziler.....	12
BÖLÜM 3		
DOST DÜŞMAN TANIMA SİSTEMİ.....		14
3.1	Yatay Işıma Diyagramı Tasarımı	15
3.2	Düşey Işıma Diyagramı Tasarımı	16
3.3	Kontrol Işıma Diyagramı Tasarımı	16
BÖLÜM 4		
FARK IŞIMA DİYAGRAM FONKSİYONU.....		19
4.1	Eş Aralıklı Olmayan Dizi Antenler için Fark Işıma Diyagramı Fonksiyonu ...	27
BÖLÜM 5		
BENZETİM ÇALIŞMALARI.....		31
5.1	Toplam Işıma Diyagram Analizleri	49
BÖLÜM 6		
GERÇEKLEME VE ÖLÇÜM		54
BÖLÜM 7		
SONUÇ VE ÖNERİLER		62
KAYNAKLAR		64
ÖZGEÇMİŞ		68

SİMGE LİSTESİ

$A(n)$	Dizi faktörü
α_i	Besleme katsayısı
B_m	Bessel katsayıları
$F(\theta, \phi)$	Işıma diyagramı
$G(u, \emptyset)$	Yönlendiricilik
$K(u)$	Açısal hassasiyet
p_0	Fark ışıma tepe noktası
x_i	Dizi eleman pozisyonu
z_n	Sıfır noktaları
λ	Dalgaboyu
$\emptyset_n$	Açısal pozisyon
ψ	Kompleks dalga sayısı
α_n	Besleme faz değeri
Σ	Toplam ışıma
Δ	Fark ışıma
μ_n	Sıfır noktaları
ξ_n	Sıfır noktaları
σ	Genişleme faktörü
η	Bağıl yönlendiricilik
δ	Bağıl açısal hassasiyet

KISALTMA LİSTESİ

CST	Computational Simulation Tool
IFF	Identifacition Friend or Foe
MHz	Mega Hertz
MERS	Multifunctional Electromagnetic Radiation System

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1	İki öğeli dizi 4
Şekil 2.2	Genel bir doğrusal dizi 6
Şekil 2.3	Dairesel dizi..... 11
Şekil 3.1	IFF sistem yapısı 15
Şekil 4.1	Dairesel diziden eş aralıklı olmayan doğrusal diziye dönüşüm 28
Şekil 5.1	16/36 dipol dairesele dizi -25 dB yan kulakçık seviyesi için geleneksel besleme durumundaki fark ışıma diyagramı 32
Şekil 5.2	16/36 dipol dairesele dizi -30 dB yan kulakçık seviyesi için geleneksel besleme durumundaki fark ışıma diyagramı 33
Şekil 5.3	16/36 Yagi dairesele dizi -30 dB yan kulakçık seviyesi için geleneksel besleme durumundaki fark ışıma diyagramı 34
Şekil 5.4	16/36 yama yüzey uyumlu dairesele dizi -25 dB yan kulakçık seviyesi için geleneksel besleme durumundaki fark ışıma diyagramı..... 34
Şekil 5.5	Dipol eş aralıklı olmayan doğrusal dizi -25 dB yan kulakçık seviyesi için hesaplanan katsayılara göre elde edilen fark ışıma diyagramı 35
Şekil 5.6	Dipol eş aralıklı olmayan doğrusal dizi -30 dB yan kulakçık seviyesi için hesaplanan katsayılara göre elde edilen fark ışıma diyagramı 36
Şekil 5.7	Yagil eş aralıklı olmayan doğrusal dizi -30 dB yan kulakçık seviyesi için hesaplanan katsayılara göre elde edilen fark ışıma diyagramı 37
Şekil 5.8	16/36 dipol dairesele dizi -30 dB yan kulakçık seviyesi için hesaplanan katsayılara göre elde edilen fark ışıma diyagramı 37
Şekil 5.9	16/36 dipol dairesele dizi -30 dB yan kulakçık seviyesi için hesaplanan katsayılar kullanıldığında ve uçtaki ilk elemanların katsayıları on kat azaltıldığında elde edilen fark ışıma diyagramı 38
Şekil 5.10	16/36 dipol dairesele dizi -30 dB yan kulakçık seviyesi için hesaplanan katsayılar kullanıldığında ve uçtaki ikinci elemanların katsayıları on kat azaltıldığında elde edilen fark ışıma diyagramı 39
Şekil 5.11	16/36 Yagi dairesele dizi -30 dB yan kulakçık seviyesi için hesaplanan katsayılara göre elde edilen fark ışıma diyagramı 40
Şekil 5.12	16/36 Yagi dairesele dizi -30 dB yan kulakçık seviyesi için hesaplanan katsayılara göre elde edilen fark ışıma diyagramı 41
Şekil 5.13	16/36 Yagi dairesele dizi -30 dB yan kulakçık seviyesi için hesaplanan katsayılara göre elde edilen simetrik fark ışıma diyagramı 41
Şekil 5.14	16/36 Yagi dairesele dizi -30 dB yan kulakçık seviyesi için elemanlar arası 0.6λ iken hesaplanan katsayılara göre elde edilen simetrik fark ışıma

	diyagramı	42
Şekil 5.15	16/36 dipol dairesel dizi -30 dB yan kulakçık seviyesi için elemanlar arası 0.6 λ iken hesaplanan katsayılara göre elde edilen simetrik fark ışıma diyagramı	43
Şekil 5.16	Yama yüzey uyumlu dairesel dizi	43
Şekil 5.17	16/36 yama dairesel dizi -30 dB yan kulakçık seviyesi için hesaplanan katsayılara göre elde edilen fark ışıma diyagramı	44
Şekil 5.18	16/36 yama dairesel dizi -30 dB yan kulakçık seviyesi için hesaplanan katsayılara göre elde edilen simetrik fark ışıma diyagramı	45
Şekil 5.19	Yama antenin ışıma diyagramı	45
Şekil 5.20	Yagi antenin ışıma diyagramı	46
Şekil 5.21	12/36 yama dairesel dizi -30 dB yan kulakçık seviyesi için hesaplanan katsayılara göre elde edilen simetrik fark ışıma diyagramı 12/36	46
Şekil 5.22	Reflektörlü dipol dairesel dizi	47
Şekil 5.23	16/36 dipol dairesel dizi -30 dB yan kulakçık seviyesi için hesaplanan katsayılara göre dizinin arkasına reflektör yerleştirilmişken elde edilen simetrik fark ışıma diyagramı	48
Şekil 5.24	6/36 dipol dairesel dizi -30 dB yan kulakçık seviyesi için hesaplanan katsayılara göre dizinin arkasına reflektör yerleştirilmişken ve elemanlar arası mesafe 0.6 λ iken elde edilen simetrik fark ışıma diyagramı	48
Şekil 5.25	16/36 dipol dairesel dizi -30 dB yan kulakçık seviyesi için hesaplanan katsayılara göre dizinin arkasına reflektör yerleştirilmişken ve elemanlar arası mesafe 0.5 λ iken elde edilen simetrik fark ışıma diyagramı	49
Şekil 5.26	16/36 yama dairesel dizi -30 dB yan kulakçık seviyesi için Taylor besleme katsayılarına göre elde edilen simetrik toplam ışıma diyagramı	50
Şekil 5.27	16/36 dipol dairesel dizi -30 dB yan kulakçık seviyesi için Taylor besleme katsayılarına göre elde edilen simetrik toplam ışıma diyagramı	51
Şekil 5.28	16/36 dipol dairesel dizi -30 dB yan kulakçık seviyesi için dizinin arkasına reflektör konulduğunda Taylor besleme katsayılarına göre elde edilen simetrik toplam ışıma diyagramı	51
Şekil 5.29	16/36 dipol dairesel dizi -30 dB yan kulakçık seviyesi için dizinin arkasına reflektör konulduğunda elemanlar arası mesafe 0.6 λ iken Taylor besleme katsayılarına göre elde edilen simetrik toplam ışıma diyagramı	52
Şekil 5.30	144/64 Yagi dairesel dizi -30 dB yan kulakçık seviyesi için hesaplanan katsayılara göre elde edilen simetrik fark ışıma diyagramı	53
Şekil 5.31	144/64 Yagi dairesel dizi -30 dB yan kulakçık seviyesi için Taylor besleme katsayılarına göre elde edilen simetrik toplam ışıma diyagramı	53
Şekil 6.1	16 elemanlı eş aralıklı olmayan yama anten dizisi	55
Şekil 6.2	16 elemanlı mikro şerit güç bölücü	57
Şekil 6.3	Mikroşerit halka hibrid	57
Şekil 6.4	180 derece hibrid kuplör	55
Şekil 6.5	16 elemanlı eş aralıklı olmayan yama anten dizisi fark ışıma diyagramı ...	59
Şekil 6.6	16 elemanlı eş aralıklı olmayan yama anten dizisi ölçüm ortamı	60
Şekil 6.7	16 elemanlı eş aralıklı olmayan yama anten dizisinin eş genlik besleme durumunda elde edilen fark ışıma diyagramı	60

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1	Polinom katsayıları 22
Çizelge 5.1	16/36 dipol dairesel dizi -25 dB yan kulakçık seviyesi için geleneksel besleme katsayıları..... 32
Çizelge 5.2	16/36 dipol dairesel dizi -25 dB yan kulakçık seviyesi için geleneksel besleme katsayıları..... 33
Çizelge 5.3	Dipol eş aralıklı olmayan doğrusal dizi -25 dB yan kulakçık seviyesi için hesaplanan besleme katsayıları 35
Çizelge 5.4	Dipol eş aralıklı olmayan doğrusal dizi -30 dB yan kulakçık seviyesi için hesaplanan besleme katsayıları 36
Çizelge 5.5	16/36 dipol dairesel dizi -30 dB yan kulakçık seviyesi için hesaplanan besleme katsayıları..... 38
Çizelge 5.6	16/36 Yagi dairesel dizi -30 dB yan kulakçık seviyesi için hesaplanan besleme katsayıları 40
Çizelge 5.7	16/36 Yagi dairesel dizi -30 dB yan kulakçık seviyesi için elemanlar arası mesafe 0.6λ iken hesaplanan besleme katsayıları 42
Çizelge 5.8	12/36 yama dairesel dizi -30 dB yan kulakçık seviyesi için hesaplanan besleme katsayıları..... 47
Çizelge 5.9	16/36 yama dairesel dizi -30 dB yan kulakçık seviyesi için Taylor besleme katsayıları..... 50

YÜZEY UYUMLU DAİRESEL DİZİ ANTEN ANALİZ VE TASARIMI

Koray SÜRMELİ

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ahmet KIZILAY

Eş Danışman: Doç. Dr. Bahattin TÜRETKEN

Elektromanyetik veya akustik dalgalar kullanarak hedeflerin tespit edilmesi, takibi ve görüntülenmesi amacıyla kullanılan radarlar elektronik savunma sistemlerinde çok önemli bir yere sahiptir. Radarların en önemli bileşeni şüphesiz antenlerdir. Birçok radar uygulamasında hüzmeye genişliğini daraltmak, kazancı artırmak ve hüzmeye tarama gerçekleştirebilmek amacıyla dizi antenler kullanılmaktadır. Dizi antenlerin en önemli karakteristik bileşeni ışıma diyagramıdır. Işıma diyagramı ana hüzmeye ve yan kulakçıklar olmak üzere iki temel bölgeden oluşmaktadır. Girişim etkilerinin oluşmaması için yan kulakçık seviyelerinin ana hüzmeye mümkün olduğu kadar düşük olması istenir. Bu durum dizi elemanlarının uygun besleme katsayıları ile beslenmesiyle elde edilir. Bu amaçla Taylor, Dolph-Chebysev, Binom ve Bayliss gibi anten besleme metotları geliştirilmiştir. Bu proje, dost düşman tanıma sistemleri için dairesel ve eş aralıklı olmayan (nonuniform) dizi anten analizlerini içermektedir.

Tez kapsamında dairesel diziler için yatay düzlemde toplam ve fark ışıma diyagramları analizleri gerçekleştirilmiştir. Sistemde aynı anda beslenen elemanların oluşturmuş olduğu dairesel dizi eş aralıklı olmayan doğrusal diziye dönüştürülmüş ve uygun bir çizgisel kaynak dağılımı kullanılarak elemanlar için besleme genlik katsayıları hesaplanmıştır. Elde edilen besleme genlik dağılımı dairesel diziye uygulanmış ve böylece hem toplam hem de fark ışıma diyagramları için yan kulakçık bastırma çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada dipol, Yagi ve yama antenleri olmak üzere üç farklı anten yapısının kullanıldığı dairesel diziler ve bu dizilere karşılık gelen eş aralıklı olmayan doğrusal diziler tasarlanmıştır. Besleme genlik dağılımlarını elde edebilmek amacıyla bir program yazılmıştır. Farklı antenler kullanılmasının ışıma diyagramları üzerine etkileri de ayrıca incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar grafikler halinde verilmiştir.

Tez kapsamında on altı elemandan oluşan eş aralıklı olmayan bir yama anten dizisi tasarlanmış ve üretimi gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan dizi antenin fark ışıma diyagramında yan kulakçıkları bastırmak amacıyla besleme genlik katsayıları tezde önerilen yöntem kullanılarak hesaplanmış ve bu besleme genlik dağılımını sağlayacak mikroşerit güç bölücü yapısı tasarlanarak üretimi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca fark ışıma diyagramını elde etmek için 180 derece hibrit kuplör tasarlanmış ve üretimi gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Dairesel diziler, dost düşman tanıma sistemleri (IFF), toplam ve fark ışıma diyagramları, yan kulakçık bastırma, eş aralıklı olmayan Bayliss algoritması.

CONFORMAL CIRCULAR ARRAY ANTENNAS ANALYSIS AND DESIGN

Koray SÜRMELİ

Department of Electronics and Communications Engineering

MSc. Thesis

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Ahmet KIZILAY

Co-Advisor: Assoc. Prof. Dr. Bahattin TÜRETKEN

Radars which uses electromagnetic or acoustic waves are used for target determining, tracking and displaying and have a very important role in electronic defence systems. The most important part of the radars is clearly antenna. Array antennas are used for narrowing the beam, increasing the gain and the beam scattering in most of radar applications. The most characteristic part of the array antennas is the array pattern. Pattern consists of two main components such as main beam and side lobes. In order to avoid the interference effects, the side lobes are preferred as low as possible compare to main lobe. This is obtained when proper excitation coefficients are used for arrays' radiating elements. For this purpose, antenna feeding methods such as Taylor, Dolph-Chebysev, Bayliss, Binom are developed. This thesis includes circular and nonuniform array analyses for identification of friend of foe (IFF) systems.

In this study, sum and difference pattern analyses are realized for circular array at horizontal plane. The circular array having simultaneously feeding elements is transformed a nonuniform array and element excitation coefficients are calculated by using a proper line source distribution. The obtained excitation coefficients are used in circular array and thus, side lobe suppression is realized for both sum and also difference beams.

In this study, three circular arrays using different elements such as dipole Yagi and circular patch antennas are corresponding non-equispaced linear arrays are designed. A program is written in order to obtain the feeding amplitude distribution. Also usage of different antenna element's effects on the radiation pattern is examined. The obtained results are given as graphs.

A non uniform patch array consists of sixteen radiating elements is designed and fabricated. To suppress the side lobe levels of the difference beam in the designed array antenna, the excitation coefficients are calculated by using the proposed method and a Microstrip power divider providing these coefficients is designed and fabricated. Also, a 180 degrees hybrid coupler is designed and fabricated to obtain the difference beam.

Key words: Circular arrays, identification friend or foe systems, sum and difference beams, side lobe suppression, non-uniform Bayliss algorithm

1.1 Literatür Özeti

Mikrodalga ve yazılım tekniklerindeki gelişmelerle birlikte radar uygulamalarında kullanılan antenlerden çok daha farklı görevler istemek olağan hale gelmiştir. Öyleki klasik radarlar tehditlere karşı etkisiz duruma düşmüştür. Bundan dolayı çok fonksiyonlu ve çoklu görev ifa eden akıllı sistemlere gereksinim kaçınılmaz olmuştur. Böylelikle modern radarlar çok amaçlı işlevleri yerine getirmek için faz dizili yapılar kullanmaya başlamıştır [1-10].

Bilindiği gibi dizi antenler, istenilen ışıma özelliklerini verecek şekilde uygun genlik ve faz ilişkileri bulunan özdeş antenlerin değişik biçimlerde düzenlenmiş gruplarına denir. Dizi antenler anten hüzmesini daraltmak, hüzmeyi şekillendirmek, yönlendirmek ve kazancı artırmak için kullanılırlar. Faz dizili antenler ise istenilen bir hüzme yapısını oluşturabilmek amacıyla diziyi oluşturan elemanların her birinin besleme genlik ve faz değerlerinin ayrı ayrı kontrol edilebildiği bir dizi yapısıdır. Hüzmenin pozisyonu diziyi oluşturan elemanların besleme faz değerlerinin ayarlanması ile elektronik olarak kontrol edilir. Böylece ana hüzme anteni fiziksel olarak hareket ettirmeden yönlendirilebilir.

Faz dizili antenlerin mikrosaniye mertebesinde hızlı ve doğru hüzme tarama yapabilme yetenekleri, sistemlerin çoklu fonksiyonları gerçekleştirebilmelerine izin vermektedir. Elektronik olarak hüzme tarama yapabilen radarlar çok sayıdaki hedefleri izleme ve bu hedeflerden bazılarını radyo frekans enerjisi ile aydınlatabilme yeteneklerine sahiptir.

Dizi antenlerin kullanıldığı radar uygulamalarında yukarıda bahsedilen çoklu fonksiyonları yerine getirebilmek amacıyla hüzmelerin dar ve yan kulakçık seviyelerinin de mümkün olduğunda düşük olması istenmektedir. Bu nedenle yan kulakçık seviyelerinin düşürebilmek için çeşitli açıklar üzerinde istenilen fonksiyonları ve besleme katsayılarını elde edebilmek için çalışmalar gerçekleştirilmiştir [11-12]. Bu çalışmalar sayesinde hesaplanabilen besleme genlik katsayıları düşük yan kulakçık seviyeli ışıma diyagramlarının gerçekleştirilmesini mümkün kılmıştır [13-22].

Birincil radar olarak da isimlendirilen radarlar hedeflerin yer/konum bilgilerini tespit edebilmektedir. Ancak bu hedeflerin dost veya düşman olup olmadığını bilememektedir. Bu durum ise elektronik harp bakımından büyük bir sorun oluşturmuştur. Bu nedenle birincil radarlarla birlikte çalışabilen ve dost düşman ayrımının gerçekleştirilmesini sağlayan ikincil radarlar geliştirilmiştir[23-25]. İkincil radarlar toplam ve fark ışıma diyagramları üreten tek darbe radarlardır [26-32]. Toplam ışıma diyagramı ile hedef aydınlatılmakta fark ışıma diyagramı ile de hedefin tam yeri belirlenmektedir. Dost düşman radarlarında düşük yan kulakçıklı toplam ve fark ışıma diyagramları elde edebilmek ve elektronik tarama gerçekleştirebilmek için silindirik ve dairesel dizi anten yapıları kullanılmaktadır. Son zamanlarda geliştirilen radarlarda ise yüzey uyumlu silindirik ve dairesel dizi anten yapıları kullanılmaktadır [33-53].

1.2 Tezin Amacı

Günümüzde elektromanyetik harp alanında radar en önemli stratejik unsur oluşturmaktadır. Ancak birincil radar olarak adlandırılan radarlar hedefleri tespit etmekle birlikte hedefin dost veya düşman mı olduğunu bilememektedir. Bunu sağlayabilmek için ikincil radar denilen IFF radarları geliştirilmiştir. Dost düşman tanıma sistemleri tespit edilen hedefe kodlu bir sinyal göndererek hedefin dost veya düşman olup olmadığını tespit eden radar sistemleridir. Bu sistemin en önemli bileşeni antenlerdir. IFF antenleri toplam ve fark ışıma diyagramı üretebilen döner veya sabit yapıdaki antenlerdir. Hedefin tam yerinin yüksek doğrulukla tespit edilebilmesi için hem toplam hem de fark ışıma diyagramında hüzmelerin dar, yan kulakçık seviyelerinin ise oldukça düşük tutulması istenmektedir. Böylece yanlış hedeflerin en aza indirilmesi

sağlanabilir. Ancak özellikle yan kulakçık seviyesini düşürme teknik problemlerle karşılaşmıştır. Son yıllarda IFF sistemlerinde silindirik dizi anten yapıları kullanılmaktadır ve anahtarlama bir sistem sayesinde hüzme tarama gerçekleştirilir. Dar bir hüzme elde edebilmek için ise dizinin tüm elemanları aynı anda beslenmez belirli sayıda anten elemanı beslenerek istenilen hüzme elde edilir. Diziyi oluşturan elemanların tamamı aynı anda beslenmediği için fark ışıma diyagramında geleneksel besleme genlik katsayıları yan kulakçık seviyelerini düşürmede başarısız olmaktadır. Bu nedenle bu tezin temel amacı dost düşman sistemlerinde kullanılan dizi antenler için belli bir algoritma kullanarak uygun besleme genlik katsayılarını hesaplamak ve fark ışıma diyagramlarında bu besleme genlik katsayılarını kullanarak düşük yan kulakçık seviyeleri elde etmektir. Ayrıca üç farklı anten yapısı kullanarak anten tipinin fark ışıma diyagramına etkilerini göstermektir.

1.3 Hipotez

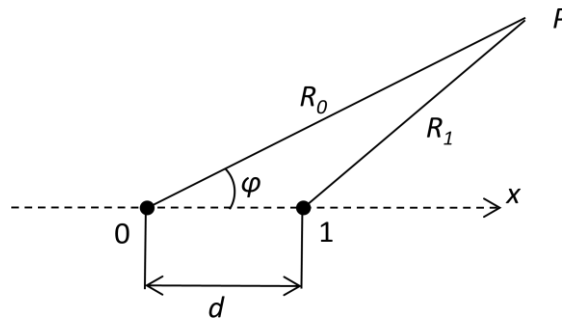
Dost düşman tanıma sistemlerinde kullanılan dizi antenlerde diziyi oluşturan elemanların tamamı aynı anda beslenmemektedir. Bu nedenle bu anten yapısı ne bir dairesel diziyi ne de bir doğrusal diziyi benzetmektedir. Bu nedenle doğrusal ve dairesel diziler için kullanılan yan kulakçık düşürme teknikleri fark ışıma diyagramında başarılı sonuçlar vermemektedir. Bu nedenle tez kapsamında dizinin aynı anda beslenen kısmının iz düşümü alınarak bir eş aralıklı olmayan dizi elde edilmiştir. Bu eş aralıklı olmayan dizi için çizgisel bir kaynak dağılımı kullanılarak fark ışıma diyagramı fonksiyonu elde edilmiştir. Bu fark ışıma diyagramı fonksiyonu Fourier-Bessel serisi cinsinden ifade edilerek Bessel katsayıları elde edilmiştir. Bessel katsayıları dizinin açıklık fonksiyonuna girilerek istenilen besleme genlik katsayıları elde edilmiştir. Bu besleme genlik katsayıları yukarıda bahsedilen IFF dizi antenlerine girilerek fark ışıma diyagramında düşük yan kulakçık seviyeleri elde edilmiştir. Elde edilen besleme genlik katsayıları üç farklı anten yapısının kullanıldığı dizi antenlere uygulanmış ve her üç anten dizi sistemi için düşük yan kulakçık seviyesine sahip ışıma diyagramları elde edilmiştir.

BÖLÜM 2

DİZİ ANTENLER

Dizi antenler, istenilen ışıma özelliklerini verecek şekilde uygun genlik ve faz ilişkileri bulunan özdeş antenlerin değişik biçimlerde düzenlenmiş gruplarına denir. Genelde önemli ışıma özellikleri ana demetin doğrultusu ile yarım güç hüzmeye genişliği, yan kulakçık seviyeleri ve hüzmeye taramadır. Anten dizileri anten hüzmelerini daraltmak, hüzmeyi şekillendirmek, yönlendirmek ve kazancı artırmak için kullanılırlar [1-2].

Anten dizileri doğrusal, dairesel, düzlemsel gibi farklı geometrik yapılarda oluşturulabilirler. Bu yapılar istenilen bir hüzmeye şeklini elde etmek amacıyla değişik biçimlerde kullanılabilir. Ayrıca anten elemanlarının sayısı ile anten besleme genlik ve fazları da değiştirilebilir parametrelerdir.



Şekil 2. 1 İki öğeli dizi

2.1 Patern Çarpım İlkesi

Patern çarpım ilkesi dizi antenlerin ışıma paternini bulmak amacıyla kullanılır. Özdeş antenlerden oluşan bir dizinin ışıma paterni, tek bir antenin güç ışıma paterni ile dizi faktörünün çarpımından oluşur. Bu özelliğe patern çarpım ilkesi denir [3].

$$F_{dizi}(\theta, \phi) = \sum_{n=0}^{N-1} A(n) F_n(\theta, \phi) \quad (2.1)$$

Şekil 2.1'deki antenlerin elektrik alanlarının θ doğrultusunda olduğu ve antenlerin x eksenini boyunca dizildiği varsayılmıştır.

$$E_0 = E_m F(\theta, \phi) \frac{e^{-jkR_0}}{R_0} \quad (2.2)$$

$$E_1 = E_m F(\theta, \phi) \frac{e^{-jkR_1}}{R_1} \quad (2.3)$$

Burada $F(\theta, \phi)$ her bir antenin güç ışıma paterni ve E_m ise genlik fonksiyonudur.

$$R_1 \cong R_0 - d \sin \theta \cos \phi \quad (2.4)$$

P noktasındaki toplam elektrik alan ayrı ayrı hesaplanan elektrik alanların toplamı olacaktır.

$$E = E_m F(\theta, \phi) \frac{e^{-jkR_0}}{R_0} [1 + e^{jkd \sin \theta \cos \phi}] \quad (2.5)$$

$$\psi = kd \sin \theta \cos \phi \quad (2.6)$$

$$E = E_m F(\theta, \phi) \frac{e^{-jkR_0}}{R_0} e^{j\psi/2} \left(2 \cos \frac{\psi}{2} \right) \quad (2.7)$$

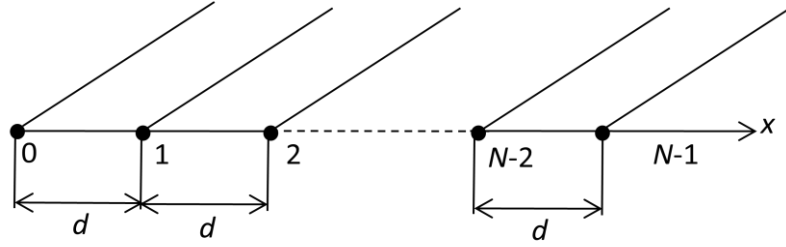
Kullanılan antenler yarım dalga dipol anten seçilirse bu durumda oluşacak olan toplam elektrik alan Eşitlik (2.8)'deki gibi olacaktır.

$$|E| = \frac{2E_m}{R_0} \left| \frac{\cos(\frac{\pi}{2} \cos \theta)}{\sin \theta} \right|^2 \left| \cos \frac{\psi}{2} \right| \quad (2.8)$$

Eşitlik (2.8)'den de görüldüğü gibi dizinin ışıma paterni diziyi oluşturan antenlerden herhangi birinin ışıma paterni ile dizi faktörünün çarpımına eşit olmaktadır.

2.2 Düzgün Doğrusal Diziler

Bir doğru boyunca eşit aralıklarla yerleştirilmiş özdeş ve eşit büyüklükte akımlarla beslenen antenlerden oluşan ve antenleri arasında düzgün olarak artan faz kaymalarına sahip olan dizilere doğrusal diziler denir [3]. Böyle bir dizi Şekil 2.2’de gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Genel bir doğrusal dizi

Doğrusal dizilerin dizi paterni de patern çarpım ilkesi kullanılarak hesaplanır. Bir doğrusal dizinin dizi faktörü Eşitlik (2.9)’da gösterilmiştir.

$$A(n) = \sum_{n=0}^{N-1} a_n e^{jkd_n} \quad (2.9)$$

- Eğer antenler x eksenine yerleştirilmiş iseler;

$$kd_n = nkd \sin \theta \cos \phi \quad (2.10)$$

- Eğer antenler y eksenine yerleştirilmiş iseler;

$$kd_n = nkd \sin \theta \sin \phi \quad (2.11)$$

- Eğer antenler z eksenine yerleştirilmiş iseler;

$$kd_n = nkd \cos \theta \quad (2.12)$$

olacaktır.

Doğrusal bir dizinin genelleştirilmiş dizi faktörü ifadesi Eşitlik (2.13)’de gösterildiği gibidir.

$$|A(\psi)| = \frac{1}{N} \left| \frac{\sin \frac{N\psi}{2}}{\sin \frac{\psi}{2}} \right| \quad (2.13)$$

2.3 Doğrusal Dizilerin Temel Özellikleri

Eşitlik (2.13)'de verilen ifadeden çeşitli önemli özellikler çıkarılabilir. İstenilen ışıma karakteristiklerinin elde edilebilmesi için bu özelliklerin kullanılması gerekir.

2.3.1 Ana Demet Doğrultusu

Ana demet doğrultusu bir dizi antenin kazancının yani ışıdığı gücün maksimum olduğu doğrultudur. Ana demet doğrultusu bize dizinin maksimum ışıma yaptığı θ ve ϕ açı değerlerini gösterir.

ψ 'yi sıfır yapan θ ve/veya ϕ açı değerleri ana demet doğrultusunu gösterir. Örneğin x eksenine yerleştirilmiş bir dizi için yatay düzlemde ($\theta = 90^\circ$);

$$\psi = kd \cos \phi \quad (2.14)$$

olacaktır. Burada görüldüğü gibi ψ , $\phi = 90^\circ$ olduğunda sıfır olacaktır. O halde böyle bir dizinin maksimum kazancı $\phi = 90^\circ$ oluşur.

2.3.2 Sıfır Konumları

Sıfır konumları dizi paterninin sıfır olduğu açı değerleridir. Eşitlik (2.13) sıfıra eşit olduğunda patern de sıfır olacaktır. Dizi faktörünün sıfır olduğu değerler eşitlik (2.15)'de gösterilmiştir.

$$\frac{N\psi}{2} = \mp k\pi, \quad k = 1, 2, 3 \dots \quad (2.15)$$

2.3.3 Yarım Güç Hüzme Genişliği

Yarım güç hüzme genişliği dizinin kazancının 3 dB düştüğü noktalar arasındaki açı değeridir ve en önemli anten parametrelerinden biridir. Örneğin radar uygulamalarında daha doğru tespit sağlamak amacıyla yarım güç hüzme genişliğinin mümkün olduğunca küçük olması istenir.

2.3.4 Yan Kulakçık Konumları

Yan loblar Eşitlik (2.13)'de pay en büyük olduğunda, yani $|\sin(N\psi/2)| = 1$ olduğunda ortaya çıkan küçük maksimumlardır. Payı en büyük yapan değerler aşağıdaki gibidir.

$$\frac{N\psi}{2} = \mp(2m+1)\frac{\pi}{2}, \quad m = 1, 2, 3 \dots \quad (2.16)$$

Yan kulakçıklar girişime sebep olduğundan mümkün olduğunca ana hüzmeye düşük seviyede olması istenir.

2.3.5 İlk Yan Kulakçık Seviyesi

Bir dizinin ışıma paterninin önemli bir özelliği ana hüzmeye göre ilk yan kulakçık seviyesidir. Tüm yan kulakçıklar olabildiğince düşük seviyede tutulmalıdır. Böylece ışıyan gücün çoğu ana demet doğrultusunda yoğunlaşacak ve yan kulakçık bölgelerine sarmayacaktır. İlk yan kulakçık seviyesinin genliği büyük N değerleri için Eşitlik (2.17)'de gösterildiği gibidir.

$$\frac{1}{N} \left| \frac{1}{\sin \frac{3\pi}{2N}} \right| \cong \frac{1}{N} \left| \frac{1}{\frac{3\pi}{2N}} \right| = \frac{2}{3\pi} = 0.212 \quad (2.17)$$

Logaritmik olarak çok öğeli bir doğrusal dizinin ilk yan kulakçıkları, ana maksimumdan 13.5 dB kadar aşağıdadır. Bu değer N büyük olduğu sürece N 'den hemen hemen bağımsızdır [3].

2.3.6 Görünür Bölge

Dizi faktörü $A(\psi)$ ψ 'ye göre periyodiktir ve periyodu 2π 'dir. Bu nedenle ψ 'yi bir Nyquist aralığında bilmek yeterlidir ($-\pi \leq \psi \leq \pi$). [1]

Ancak ψ 'nin gerçek değişim aralığı $kd = 2d\pi/\lambda$ 'ya bağlıdır. x eksenine yerleştirilmiş bir düzlemsel dizi için yatay düzlemde ψ , $\cos \theta$ ile değişir. θ 0° ile 180° arasında değiştiği için ψ değeri kd ile $-kd$ aralığında değişir. Bu değişim aralığı genel olarak görünür bölge olarak tanımlanır.

$$-kd \leq \psi \leq kd \quad (2.18)$$

2.3.7 Izgara Kulakçıklar

$kd > \pi$ yani $d > \lambda/2$ olduğunda $A(\theta)$ görünür bölgeyi bir kez sarar ve daha sonra ikinci bir sarma yapar. Bu durum ana demetin dışında ızgara adı verilen ve yan kulakçık olmayan kulakçıkların oluşmasına neden olur. Izgara kulakçıklarının sayısı $2d/\lambda$ ile

bulunabilir. Örneğin antenler arasındaki d mesafesi 2λ olduğunda 4 adet kulakçık oluşacaktır.

Izgara kulakçıkların oluşmaması için antenler arasındaki d mesafesinin dalga boyunun yarısından küçük veya eşit seçilmesi gerekir.

2.4 Düzlemsel Diziler

Düzlemsel diziler, diziye oluşturan antenlerin tamamının xy , xz veya yz düzleminde yer aldığı dizi yapılarıdır. Düzlemsel diziler iki ana yapıya ayrılabilir. Bunlardan birincisi dikdörtgen veya kare şeklinde yerleştirilmiş antenlerden oluşan düzlemsel dizi yapısıdır. Diğeri ise eş merkezli halkalara yerleştirilmiş antenlerden oluşan düzlemsel dizi yapısıdır [4].

Bir boyutlu doğrusal diziler için geliştirilmiş olan analiz ve sentez teknikleri düzlemsel diziler için genişletilebilir. Ancak bazı pratik uygulamalarda düzlemsel dizilere özgü olan teknikler kullanılmaktadır.

Düzlemsel dizilerde dik düzlemlere yerleştirilen antenler arasındaki mesafeler, antenlerin çeşidi, antenlerin sayısı, kullanılan düzlem, anten besleme genlik ve fazları gibi parametreler istenilen ışıma özelliklerini elde edebilmek için değiştirilebilir parametrelerdir.

2.4.1 Düzlemsel Diziler için Dizi Faktörü ve Işıma Diyagramı

Dikdörtgen sınırlı olarak yerleştirilen düzlemsel dizilerde ışıma diyagramı birbirine dik iki doğrusal dizinin ışıma diyagramlarının çarpımından elde edilir. Böylece doğrusal diziler için geliştirilmiş olan tüm yöntemler düzlemsel diziler için geliştirilebilir [5].

xy düzlemine yerleştirilmiş bir düzlemsel dizi için dizi faktörü ifadesi Eşitlik 2.19'da gösterildiği gibidir.

$$A(\theta, \phi) = \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{M-1} a_{nm} e^{jnkd \sin \theta \cos \phi} e^{jmkd \sin \theta \sin \phi} \quad (2.19)$$

Burada N x eksenı boyunca yerleştirilen anten sayısını, M ise y eksenı boyunca yerleştirilen anten sayısını göstermektedir. a_{nm} ise ilgili antenin besleme genliğini ifade etmektedir.

Eğer akım dağılımı ayrılabilirse bu durumda dizi faktörü Eşitlik 2.20’de gösterildiği gibi olacaktır.

$$A(\theta, \phi) = A_x(\theta, \phi)A_y(\theta, \phi) \quad (2.20)$$

Burada;

$$A_x(\theta, \phi) = \sum_{n=0}^{N-1} a_n e^{jnkd \sin \theta \cos \phi} \quad (2.21)$$

$$A_y(\theta, \phi) = \sum_{m=0}^{M-1} a_m e^{jmkd \sin \theta \sin \phi} \quad (2.22)$$

biçimindedir.

Akım dağılımının ayrılabilir olduğu durum için a_{nm} ifadesi Eşitlik 2.23’de gösterildiği gibidir.

$$a_{nm} = a_n a_m \quad (2.23)$$

xz düzlemine yerleştirilmiş olan düzlemsel bir dizi için dizi faktörü Eşitlik 2.24’te ifade edilmiştir.

$$A(\theta, \phi) = \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{M-1} a_{nm} e^{jnkd \sin \theta \cos \phi} e^{jmkd \cos \theta} \quad (2.24)$$

yz düzlemine yerleştirilmiş olan düzlemsel bir dizi için dizi faktörü Eşitlik 2.25’de ifade edilmiştir.

$$A(\theta, \phi) = \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{M-1} a_{nm} e^{jnkd \sin \theta \sin \phi} e^{jmkd \cos \theta} \quad (2.25)$$

Düzlemsel diziler içinşıma diyagram ifadesi ise daha önce bahsedilen patern çarpım ilkesi kullanılarak hesaplanır.

$$F_{dizi}(\theta, \phi) = F(\theta, \phi)A(\theta, \phi) \quad (2.26)$$

Eşitlik 2.26’da görülen $F(\theta, \phi)$ ifadesi diziyi oluşturan antenlerden herhangi birinin güç ışıma diyagramıdır.

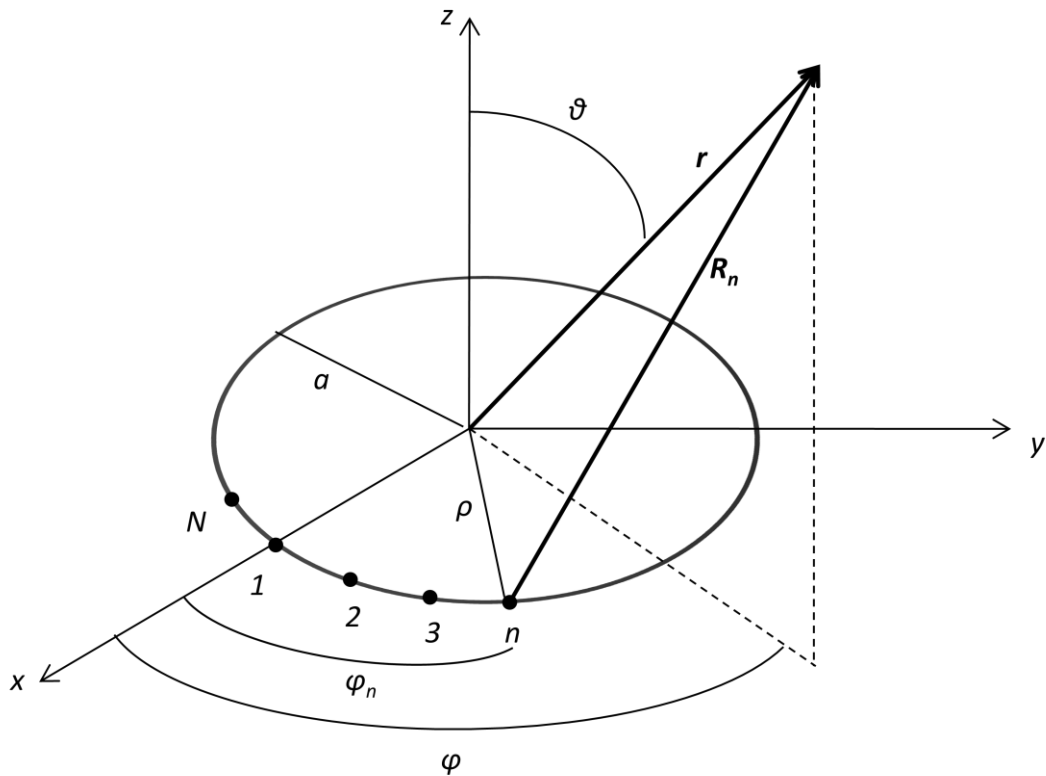
2.5 Dairesel Diziler

Dairesel diziler bir halka üzerine özdeş elemanların yerleştirilmesi ile elde edilirler. Yapı olarak tam bir simetriye sahiptirler. Dairesel diziler, dar hüzmeli ve yönlü bir hüzmeye sahiptir.

oluşturabilmek amacıyla kullanılırlar. Oluşturulan hüzme elektronik olarak yönlendirilebilir ve yönlendirme durumunda hüzme şekli aynı kalır [8].

Dairesel diziler yatay düzlemde 360 derecelik kapsama alanına sahiptirler. Dairesel diziler radarlarda, sonarlarda, yön bulma uygulamalarında, navigasyon sistemlerinde kullanılırlar. Bununla birlikte hava gözetleme radarlarında ve IFF sistemlerinde sıklıkla kullanılmaktadırlar.

Doğrusal dizilerde eleman faktörü diziyi oluşturan tüm elemanlar için aynıdır. Işıma paterni bu eleman faktörü ile dizi faktörünün çarpımından elde edilir. Dairesel dizilerde ise eleman faktörü elemanın pozisyonuna bağlıdır. Bu nedenle ortak bir eleman faktöründen söz etmek mümkün değildir. Dairesel dizilerde eleman faz değerleri çok farklı olabilmektedir. Bu nedenle faz kaydırıcıların bu farklı sağlayacak yapıda olması gerekmektedir. Ayrıca dairese dizilerde doğrusal dizilerde olduğu gibi yan kulakçık bastırma için basit sentez teknikleri mevcut değildir. Dairesel dizi yapısı Şekil 2.3'te gösterildiği gibidir.



Şekil 2.3 Dairesel dizi

N adet özdeş elemandan oluşan xy düzleminde a yarıçaplı bir daire üzerine yerleştirilmiş dairesel bir dizi yapısı için normalize alan ifadesi aşağıda ifade edilmiştir.

$$E_n(r, \theta, \phi) = \frac{e^{-jkr}}{r} \sum_{n=1}^N a_n e^{jka \sin \theta \cos(\phi - \phi_n)} \quad (2.27)$$

Burada,

a_n : n . elemanın besleme genlik değeri

ϕ_n : n . elemanın xy düzlemi üzerindeki açısal pozisyonudur ve aşağıdaki eşitlikle ifade edilmektedir.

$$\phi_n = 2\pi \left(\frac{n}{N} \right) \quad (2.28)$$

Dairesel bir dizinin dizi faktörü ise,

$$AF(\theta, \phi) = \sum_{n=1}^N a_n e^{j[ka \sin \theta \cos(\phi - \phi_n) + \alpha_n]} \quad (2.29)$$

biçimindedir.

Dizi faktörü ifadesinde görülen α n . elemanın besleme faz değeridir ve aşağıdaki gibi gösterilmektedir.

$$\alpha_n = -ka \sin \theta_0 \cos(\phi_0 - \phi_n) \quad (2.30)$$

Dairesel dizilerde her bir eleman için α parametresi hesaplanarak dizi ışıma diyagramı yatay düzlemde istenilen bir açıya yönlendirilebilir.

2.6 Silindirik Diziler

Silindirik diziler dairesel dizilerin üst üste yerleştirilmesi ile elde edilmektedirler. Bir silindirik dizinin dizi faktörü aşağıdaki eşitlik ile ifade edilmektedir [8-12].

$$AF = \sum_{n=1}^N a_n e^{j[ka \sin \theta \cos(\phi - \phi_n) + \alpha_n]} \times \sum_{m=1}^M e^{jmkd \cos \theta} \quad (2.31)$$

Burada N dairesel dizideki eleman sayısını, M silindirik dizide yer alan dairesel dizi sayısını, a dairesel dizinin yarıçapını, d dairesel diziler arasındaki mesafeyi a_n ile a_m ilgili elemanların besleme genlik katsayılarını göstermektedir. ϕ_n ise dairesel dizideki n . elemanın xy düzlemindeki açısal pozisyonunu göstermektedir ve Eşitlik 2.28'deki gibi

ifade edilir. Silindirik diziler başta IFF sistemi olmak üzere çeşitli radar uygulamalarında kullanılmaktadır.

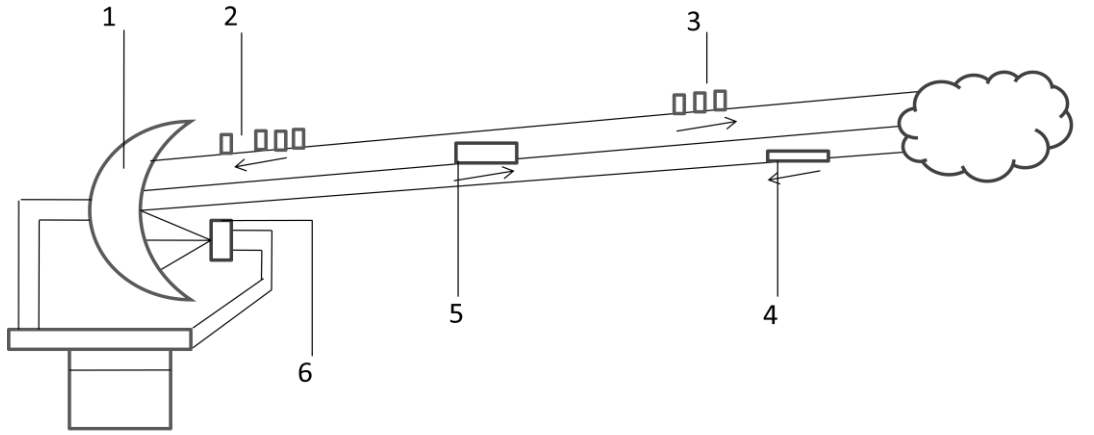
DOST DÜŞMAN TANIMA SİSTEMİ

Klasik radarlar hava araçlarının yer/konum bilgilerini tespit edebilmekte, tespit edilen hava aracının dost veya düşman olup olmadığını bilememektedir. Bunun üstesinden gelmek amacıyla üzerine gelen kodlu sinyali belirli bir kodla cevaplayan sistemler tasarlanmış ve bunlar ikincil radar dediğimiz IFF (“identification friend or foe”) radarlarının geliştirilmesini sağlamıştır [23-25].

IFF sisteminde yer istasyonu ve hava platformu arasındaki kod alışverişini sağlayan ve hava platformunun yerininin doğru tespit edilmesinde en büyük önemi olan sistem elemanı antenlerdir. IFF antenleri, 1030 -1090 MHz frekans bandında çalışan özel tasarlanmış, toplam ve fark ışıma diyagramı üretebilen, düşük yan kulakçık seviyesine sahip döner/sabit antenlerdir. IFF antenleri frekans çiftinden birini şifreli darbe dizisini göndermek diğeri ise gelen cevabı almak için kullanılır. Döner antenler belirli bir hızla hedef üzerinden geçerek sorgulama yapar. Sabit antenler ise mekanik olarak sabit ancak elektronik olarak ana hüzmeyi döndürüldüğü faz taramalı antenlerdir.

Özellikle son zamanlarda deniz platformlarında bütünleşmiş anten direği uygulamaları (radar kesit alanı azaltımı, frekans seçici yüzey kullanarak elektronik bastırmaya karşı dayanıklılığının artırılması, yüzeye uyumlu sabit antenlerin kullanılması amacıyla) başlamış ve platformlarda bulunan radar antenleri bu direk içerisinde toplanmıştır. Bu durum yapıya uygun sabit ancak elektronik tarama yapan antenlerin tasarımını zorunlu kılmıştır. Bu tür platformlarda genellikle silindirik dizi anten yapıları kullanılmaktadır. Anten gereksinimleri genelde birincil radar antenleri ile benzerdir. Ancak çoklu yol (multipath) ve yan kulakçıklardan dolayı oluşan yanlış hedeflerin bastırılması önem arz etmektedir. Anten güç seviyeleri birincil radarlara göre daha düşük seviyede tutulabilir.

Ayrıca anten kazançları da birincil radara kıyasla daha az kritik durumdadır. IFF amacıyla kullanılan radarlarda temel tasarım faktörü yanlış hedeflerin en aza indirilmesidir. Ayrıca IFF sistemi bir birincil radarla birlikte kullanılmaktadır. Bu nedenle girişim ve fiziksel boyut parametreleri de göz önüne alınarak tasarımlar gerçekleştirilmelidir. Bir birincil radarla ortak besleme yapısı kullanan IFF sisteminin yapısı Şekil 3.1’de gösterildiği biçimdedir.



- | | |
|------------------------------------|---|
| 1 Yönlü reflektör anteni | 4 Birincil radar eko darbesi |
| 2 ikincil radar cevap darbe katarı | 5 Birincil radar göbderilen darbe |
| 3 İkincil radar sorgu darbe katarı | 6 Besleme anteni (Birincil radar için
horn IFF için dipol anten) |

Şekil 3.1 IFF sistem yapısı

Şekilden de görüldüğü gibi birincil radar hedefe bir darbe sinyali göndererek hedeften yansıyan gelen sinyali işleyip hedefin boyutu, hızı radara olan uzaklığı gibi belirler. Dost düşman tanıma sistemi ise belirlenen hedefe kodlu bir darbe katarı göndererek hedeften gelen cevaba göre hedefin dost veya düşman olup olmadığını belirler.

3.1 Yatay Işıma Diyagramı Tasarımı

IFF antenlerinde düşey ışıma örüntüsü ve yatay ışıma örüntüsü ayrı ayrı tasarlanmaktadır. Bununla birlikte bir de kontrol ışıma örüntüsü tasarımı gerçekleştirilmelidir. Yatay düzlemde hedefin doğru bir şekilde tespit edilmesi ve yanlış hedeflerin en aza indirilmesi büyük öneme sahiptir. Yatay düzlemde hüzmeye genişliği 2-

4 derece olan ve düşük yan kulakçık seviyesine sahip ışıma örüntüleri istenmektedir. Hedeflerin çok daha doğru bir şekilde tespit edilebilmesi için fark ışıma örüntüleri kullanılmaktadır. Bu durumda yatay düzlemde toplam ve fark ışıma örüntüsü olmak üzere iki adet ışıma örüntüsü vardır. Toplam ışıma örüntüsü ile hedef aydınlatılır. Alıcı durumda fark ışıma örüntüsü kullanılarak hedefin, ışıma örüntüsünün iki ana hüzmesi içerisinde tutulması sağlanır. Hedef iki ana hüzme arasındaki sıfır noktasında olmadığı zaman radar alıcısı ile bir geri dönüş sinyali tespit edilir. Bu sinyal hüzmenin eğimi ile orantılıdır ve hüzmenin pozisyonuna son derece duyarlıdır. Böylece hedefin açılal pozisyonu doğru bir şekilde belirlenebilir. Yanlış hedeflerin en aza indirilebilmesi için hem toplam hem de fark ışıma diyagramlarında yan kulakçık seviyelerinin düşük olması gerekmektedir.

3.2 Düşey Işıma Diyagramı Tasarımı

Düşey düzlemde çokluyol etkilerinin bastırılması çok önemlidir. Bu nedenle düşey ışıma örüntüsünün bir sektör hüzme veya kosekant ışıma örüntüsü biçiminde olması önerilmektedir. Düşey ışıma örüntüsü en fazla 40 derece hüzme genişliğine sahip olacak şekilde tasarlanır. Çoklu yol etkilerinin belirlenmesi için ufuk noktasında düşey ışıma örüntüsünün eğimine bakılır. Bu değer dB/derece cinsinden ifade edilir ve ufuk kesim oranı olarak bilinir. Bir çok uygulama için ufuk kesim oranının 2-4 dB/derece değerinde olması yeterlidir.

3.3 Kontrol Işıma Diyagramı Tasarımı

IFF sistemlerinde yan kulakçıklardan gelen sinyallere yanıt verilmesini engellemek amacıyla kontrol ışıma örüntüleri oluşturulmaktadır. Kontrol ışıma örüntüsünün kazancı toplam ışıma örüntüsünün kazancından küçük, yan kulakçık seviyelerinden ise daha büyüktür. Bu nedenle eğer toplam ışıma örüntüsünün kazancı kontrolün kazancından büyükse yanıt verilir.

Kontrol ışıma örüntüleri üç şekilde oluşturulabilirler.

Yönsüz Işıma Diyagramı: Bu ışıma örüntüsü genellikle ayrı bir anten kullanılarak oluşturulur. Basit bir yapıya sahiptir. Kritik uygulamalarda kullanılmazlar. Düşey

düzlemde kontrol ışıma örüntüsü toplam ışıma örüntüsü ile uyumlu olacak şekilde tasarlanır.

Fark Işıma Diyagramı: Toplam aydınlatmasının merkezinde ani faz değişimleri ile elde edilen fark ışıma örüntüsü kontrol ışıma örüntüsü olarak kullanılır. Sınırlı kapsama sağlamaktadır.

Çentik (Notch) Işıma Diyagramı: Dizi uygulamaları için en iyi kontrol ışıma örüntü yapısıdır. Işıma örüntüsü, çentiği üretmek için dizinin merkezi sütunlarından birinin toplam patern ile zıt fazda beslenmesi ile elde edilir. Bu yaklaşımda arka kulakçık ışımasını engellemek için genellikle yardımcı bir anten sisteme eklenmektedir.

Başlangıçta kullanılan IFF antenleri bir lineer dizi ve sabit bir yönsüz antenden oluşmaktaydı. Ancak bu antenlerin ufuk kesim oranları düşüktür. Daha sonra açık dizi adı verilen dipol dizi antenleri kullanılmaya başlanmıştır. Bu yapıda çoklu yol etkilerini azaltabilmek amacıyla düşey açıklık artırılmıştır. Dizide beslenen dipol sütunlarının arasına parasitik dipol anten elemanları yerleştirilmiştir.

Bir reflektör antenin ortak olarak kullanıldığı birincil ve ikincil radar yapıları da mevcuttur. Bu durumda önemli olan reflektörü besleyen birincil ve ikincil radar antenlerinin birbirlerini etkilemeden çalışabilmelerini sağlamaktır. Son zamanlarda ise elektronik taramanın kullanıldığı ve radar kulelerinin sabit kısımlarına monte edilen silindirik IFF antenleri kullanılmaktadır. Bu dizi anten yapısı ile yatay düzlemde 360 derece tarama yapılabilir. Bu yapıda düşey patern sektör yapısındadır ve iyi bir kesim oranına sahiptir. Ayrıca bir çoklu açı yönlendirme yapısı ile yatay demet genişliği bütün elevasyon açıları için sabit tutulabilir. Tarama işlemi anahtarlar ve faz kaydırıcılar kullanılarak gerçekleştirilebilir.

Örnek bir yapı olarak çok fonksiyonlu elektromanyetik ışıma sistemi (MERS) gösterilebilir [25]. MERS sistemi en az dört radar fonksiyonun tek, tespit edilme olasılığı düşük ve düşük ağırlıklı bir anten sistemi içerisinde birleştirilebileceğini göstermiştir. Bu sistemlerden biri de IFF sistemidir. IFF dizisi ihtiyaç duyulan dar azimut paternini ve minimum kazanç gereksinimlerini karşılayabilmek için yapının en alt kısmına yerleştirilirler. Böylece en geniş açıklığa sahip olmuş olurlar. MERS IFF anteni iki satırdan oluşan ve her bir satırda dairesel olarak yerleştirilmiş 32 elemandan oluşan bir

dizi yapısına sahiptir. Elemanlar bir hüzmeye şekillendirme ağı tarafından beslenirler. IFF anteni sekiz derece demet genişliğine ve -20 dB yab kulakçık seviyesine sahiptir.

BÖLÜM 4

FARK IŞIMA DİYAGRAM FONSIYONU

Tek darbe radar sistemleri anten ışıma diyagramı açısından önemli ölçüde esneklik kazanmıştır. Bu esneklik çoklu horn besleme yapıları ile dizi anten yapılarının gelişmesini sağlamıştır. Mevcut tek darbe radar sistemlerinde toplam ve fark ışıma diyagramları bağımsız olarak optimize edilebilmektedir. Fark ışıma diyagramı tasarımıındaki ana amaç ise istenilen düşük yan kulakçık seviyesi ile orantılı en yüksek açı hassasiyetini sağlamaktır. Karıştırıcılar, yakın hedef kargaşaları ile yer kargaşalarını bastırabilmek amacıyla düşük yan kulakçık seviyeleri hem toplam hem de fark ışıma diyagramlarında istenilmektedir. Fark ışıma diyagramlarında istenilen düşük yan kulakçık seviyesi ile yüksek açı hassasiyeti, toplam ışıma diyagramlarında istenilen dar hüzmeye genişliği ve düşük yan kulakçık seviyesi isteklerine karşılık gelmektedir. Bu istekleri karşılayan ışıma diyagramı doğru şekilde tasarlanmış olan bir açıklık aydınlatmasıyla mümkündür [13].

Bir tek darbe sistemi mümkün olan en yüksek açı tahminini aşğıdaki varsayımların biri altında gerçekleştirebilir.

- Gürültünün ana kaynağı uzamsaldır ve geçici olarak ışıyan alanla ilişkili değildir.
- Gürültünün ana kaynağı termal gürültüdür. Ayrıca toplam ile fark kanallarında bağımsızdır.

Açı tahmini toplam ve fark kanallarının çıkışlarını ilişkilendirerek yapılır. Ancak en yüksek tahmin için ihtiyaç duyulan toplam ve fark ışıma diyagramları yüksek yan kulakçık seviyelerine sahiptir. Örneğin fark ışıma diyagramının ilk yan kulakçık seviyesi

toplam ışıma diyagramının tepe değerinden 14.5 dB aşağıdadır. Kargaşa ve aktif gürültü kaynaklarının problem oluşturduğu uygulamalarda bu denli yan kulakçık seviyeleri kabul edilemez. Bu nedenle temel amaç anten yan kulakçıklarının hem toplam hem de fark ışıma diyagramlarında azaltmak ayrıca bu olurken sistemin açıl hassasiyetinin de önemli bir miktarda düşmemesini sağlamaktır.

Fark ışıma diyagramının teorik olarak elde edilişi ilk olarak bir model ışıma diyagram fonksiyonu oluşturarak başlamaktadır. Oluşturulan bu model fonksiyonu ise asimptotik fark ışıma diyagramlarını sentezlemek için kullanılmaktadır. Asimptotik fark ışıma diyagramı artık gerçekleştirilebilen bir fonksiyondur. Böylece sentez işlemi tamamlanmaktadır.

Model fonksiyonu isminden de belli olduğu üzere asimptotik fark ışıma diyagramını oluşturmak için model olarak kullanılmaktadır. Yani Taylorun toplam ışıma diyagramının elde etmek için kullandığı ideal ışıma diyagramına benzemektedir [14]. Bir model fonksiyonunda istenilen ana özelliklerden biri verilen bir yan kulakçık seviyesi için en yüksek açısal duyarlılıktır. Bir dizi antende verilen bir yan kulakçık seviyesi için en yüksek açısal duyarlılığı oluşturan ışıma diyagramı fonksiyonunun eşit seviyede yan kulakçıkları sahip olması gerektiği gösterilmiştir. Bu teorem Dolph'un toplam ışıma diyagramları için yaptığı ile benzerdir [18]. Dizi antenler için elde edilmiş olan bu sonuç sürekli bir açıklığa genişletildiği zaman iki önemli fark oluşmaktadır.

- Işıma diyagram fonksiyonu verilen bir yan kulakçık seviyesi için en yüksek duyarlılığa değil en yüksek eğime sahiptir.
- Işıma diyagram fonksiyonu gerçekleştirilebilir bir anten ışıma diyagramı değildir.

Bu iki karakteristik fark ışıma diyagramının eşit seviyede yan kulakçıklara sahip olması gereğinden kaynaklanmaktadır. Yan kulakçıkları $u^{-3/2}$ ile azalmayan herhangi bir ışıma diyagramı fonksiyonu gerçekleştirilebilir değildir çünkü bu fonksiyon sınırsız bir açıklık fonksiyonuna ihtiyaç duymaktadır. Burada u eşitlikteki gibi ifade edilmektedir.

$$u = \frac{2a}{\lambda} \sin \theta \quad (4.1)$$

Fonksiyon gerçekleştirilebilir olmadığından açısal duyarlılık da tanımlı değildir. Ancak yine de bu fonksiyon verilen bir yan kulakçık seviyesi için en yüksek eğim değerine sahiptir

ve gerçekleştirilebilir bir asimptotik fark ışıma diyagramı sentezi için model fonksiyon olarak kullanılabilir. Bu nedenle bir model fonksiyonun ana karakteristikleri şöyledir.

- Verilen bir tepe yan kulakçık seviyesi oranı için orjinde en yüksek eğim,
- Aynı genlik seviyeli ve sonsuz boyutlu yan kulakçıklar

Price and Hyneman bu tarz bir fonksiyonun gerçek fonksiyon formunun bilinmediğini göstermişlerdir . Bu nedenle eşit yan kulakçık seviyeli bir fark ışıma diyagram fonksiyonunu büyük yaklaşıklıkla oluşturmak için bir yöntem takip etmek gerekmektedir.

Taylor tarafından kullanılan ideal toplam ışıma diyagramı aşağıdaki biçimdedir [13].

$$F_{\Sigma}(u) = \cos(\pi\sqrt{u^2 - A^2}) \quad (4.2)$$

Burada A parametresi yan kulakçık seviyesini belirlemektedir. Bu fonksiyon sonsuz uzunlukta olan eşit yan kulakçık seviyelerine sahiptir. İdeal toplam ışıma diyagramının türevini alındığında fark ışıma diyagramı elde edilmektedir.

$$F_{\Delta}(u) = \pi(u^2 - A^2)^{-1/2}u \sin \pi(u^2 - A^2)^{1/2} \quad (4.3)$$

Bu fonksiyonun ilk birkaç yan kulakçığı eşit yükseklikte değildir. Ancak yukarıdaki fonksiyonun bu ilk birkaç yan kulakçığını düzenlemek mümkündür. Böylece Bu kulakçıklar asimptotik yan kulakçık seviyesine eşit olurlar. Yukarıdaki fonksiyonun sıfırları aşağıdaki gibidir.

$$z_n = \begin{cases} 0; & n = 0 \\ \mp(A^2 + n^2)^{1/2}; & n = 1, 2, 3 \dots \end{cases} \quad (4.4)$$

Model fark fonksiyonu orjinin her iki tarafında ilk T kadar sıfırı kaydırarak oluşturulabilir. Böylece yan kulakçıklar eşit yapılabilir. Model fark fonksiyonu aşağıdaki gibi elde edilir.

$$F_M(u) = F_{\Delta}(u) \prod_{n=1}^T \frac{\xi_n^2 - u^2}{z_n^2 - u^2} \quad (4.5)$$

Burada z_n sıfır noktaları ξ_n noktalarına kaydırılmıştır. Yan kulakçıkları eşit yapan sıfır noktalarının yeni konumları ξ_n iteratif bir prosedürle bulunabilir.

Hesaplamaları kolaylaştırmak ve hızlandırabilmek amacıyla yan kulakçık parametresi A ile sıfır noktaları dB cinsinden yan kulakçık seviyesinin fonksiyonu olarak ifade edilmektedir. A, ξ_n , fark ışıma diyagramının tepe noktasının gösteren p_0 için dördüncü dereceden polinomlar oluşturulmuştur. Bu polinomların katsayıları ise aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Çizelge 2. 1 Polinom katsayıları

Polinom İsmi	Polinom katsayıları				
	C_0	C_1	C_2	C_3	C_4
A	0.3038	-0.0504	-0.0002	-0.00000343	-0.00000002
ξ_1	0.9858	-0.0333	0.0001	0.00000190	0.00000001
ξ_2	2.0033	-0.0114	0.0004	0.00000373	0.00000001
ξ_3	3.0063	-0.0068	0.0003	0.00000161	0
ξ_4	4.0051	-0.0050	0.0002	0.00000088	0
p_0	0.4797	-0.0145	-0.0001	-0.00000218	-0.00000001

Model fonksiyonu kullanılarak asimptotik fonksiyon elde edilmelidir. Asimptotik fonksiyon Fourier-Bessel serileri cinsinden ifade edilir. Eşitlikler kullanılarak elde edilen model fonksiyonun en önemli özelliği eşit yan kulakçıklara sahip olmasıdır. Model fonksiyon F_M tamamiyle sıfır noktaları kullanılarak ifade edilmektedir.

$$Z_n = \begin{cases} 0; & n = 0 \\ \mp \xi_n; & n = 1, \dots, T \\ \mp (A^2 + n^2)^{1/2}; & n = T + 1, \dots \end{cases} \quad (4.6)$$

Büyük $|u|$ değerleri için sıfırlar asimptotik olarak $\mp n$ değerine yaklaşmaktadır. Bu model fonksiyonu gerçekleştirilebilir değildir çünkü azalan yan kulakçıkları yoktur. Bu da sonsuz enerji anlamına gelmektedir. Asimptotik fark ışıma diyagramını oluşturabilmek

için model fonksiyonunun uzak yan kulakçık bölgesindeki davranışı değiştirilir. Böylece model fonksiyonu azalan yan kulakçıklara sahip olan gerçekleştirilebilir bir ışıma diyagramına dönüşür yani asimptotik davranış gösterir. Bunu gerçekleştirebilmek amacıyla model fonksiyonun Z_n sıfır noktaları bütün $n \geq N$ değerleri için μ_n noktalarına kaydırılır. Sadece uzak yan kulakçık bölgesinde sıfır noktaları değiştirildiği için merkez bölgesinde model fonksiyonunun başlıca özellikleri kaybedilmemiş olmaktadır. Merkez bölge $n < N$ değerleri için sıfır noktalarını kapsamaktadır. Model fonksiyonunun N . sıfır noktası çifti $\mp Z_N$ ile gerçekleştirilebilir fonksiyonun N . sıfır noktası çifti $\mp \mu_n$ çakışmamaktadır. Bu durum merkez bölgesi ile uzak yan kulakçık bölgesi arasındaki geçişte daha yüksek bir yan kulakçığın oluşmasına neden olmaktadır. Bu geçiş kısmında görülen yüksek seviyeli yan kulakçığın giderilmesi için merkez bölgesindeki sıfır noktaları σ ile ifade edilen bir faktör yardımıyla genişletilir. Böylece Z_N ve μ_n noktalarının çakışması sağlanır.

$$\sigma = \frac{\mu_N}{Z_N} \quad (4.7)$$

N 'nin büyük değerleri için σ daima birden büyük olacaktır. Model fonksiyonunda yapılan değişiklikler özetlenecek olursa;

- Uzak yan kulakçık bölgesinde model fonksiyonu azalan yan kulakçık seviyelerine sahip olan gerçekleştirilebilir bir ışıma diyagram fonksiyonuyla yer değiştirilir.
- Model fonksiyonu, σZ_n sıfır noktası ile uzak yan kulakçık bölgesinin $u = \mu_N$ noktasındaki ilk sıfırı çakışacak şekilde genişletilir.

Model fonksiyonunun bu şekilde oluşturulan asimptotik biçimi sıfırların kanonik çarpımı biçiminde ifade edilir.

$$F_a(u, \emptyset) = Cu\pi \cos \emptyset \prod_{n=1}^{N-1} \left[1 - \left(\frac{u}{\sigma Z_n} \right)^2 \right] \prod_{n=N}^{\infty} \left[1 - \left(\frac{u}{\mu_n} \right)^2 \right] \quad (4.8)$$

Bu eşitlikte C katsayısı bir sabittir. Herhangi bir pratik değer elde edebilmek için ikinci çarpım terimi bir kapalı fonksiyon biçimine dönüştürülmelidir. Eşitlik (4.8)'in ikinci çarpımındaki sıfırlar $J_1'(\mu_n \pi) = 0$ eşitliğini sağlamaktadır. Böylece ikinci çarpım terimi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\prod_{n=N}^{\infty} \left[1 - \left(\frac{u}{\mu_n} \right)^2 \right] = [2J_1'(u\pi)] \left[\prod_{l=0}^{N-1} 1 - \left(\frac{u}{\mu_l} \right)^2 \right]^{-1} \quad (4.9)$$

Eşitlik (4.9) ile eşitlik (4.8) birleştirildiğinde aşağıdaki eşitlik elde edilmektedir.

$$F_a(u, \emptyset) = C \cos \emptyset 2\pi u J_1'(u\pi) \frac{\prod_{n=1}^{N-1} \left[1 - \left(\frac{u}{\sigma Z_n} \right)^2 \right]}{\prod_{l=0}^{N-1} \left[1 - \left(\frac{u}{\mu_l} \right)^2 \right]} \quad (4.10)$$

$F_a(u, \emptyset)$ gerçekleştirilebilir bir asimptotik fark ışıma diyagramıdır. Bu fonksiyon merkez bölgede ($|u| < \mu_n$) model fonksiyonuna hemen hemen eşittir. Aslında merkez bölgenin boyutu sınırsız bir şekilde artarsa asimptotik fonksiyon model fonksiyonuna yaklaşır.

$$\lim_{N \rightarrow \infty} F_a(u, \emptyset) = F_M(u, \emptyset)$$

Ayrıca N artıkça σ 1'e yakınsar. Böylece N sonsuza gittiğinde eşitliğin ikinci çarpım kısmı otadan kalkar ve sadece birinci kısım kalır. Birinci çarpım terimi de $\sigma = 1$ olduğundan tamamen model fonksiyonuna eşittir. Yani $F_a(u, \emptyset)$ gerçekten $F_M(u, \emptyset)$ fonksiyonuna asimptotiktir.

Asimptotik fonksiyon katsayıları hesaplayabilmek amacıyla Fourier-Bessel serileri cinsinden ifade edilir. İlk olarak $F_a(u, \emptyset)$ örnek noktalarında ($\mu_n, 0$) hesaplanır.

$$\hat{F}(\mu_m, 0) = F_a(\mu_m, 0) = C 2\pi \mu_m \frac{\prod_{n=1}^{N-1} \left[1 - \left(\frac{\mu_m}{\sigma Z_n} \right)^2 \right]}{\prod_{\substack{l=0 \\ l \neq m}}^{N-1} \left[1 - \left(\frac{\mu_m}{\mu_l} \right)^2 \right]} \lim_{u \rightarrow \mu_m} \frac{J_1'(u\pi)}{\left[1 - \left(\frac{u}{\mu_n} \right)^2 \right]} \quad m = 0, 1, \dots, N-1 \quad (4.11)$$

Limit hesaplandığında

$$F_a(\mu_m, 0) = C(\pi \mu_m)^2 [1 - (\pi \mu_m)^{-2}] J_1(\mu_m \pi) \frac{\prod_{n=1}^{N-1} \left[1 - \left(\frac{\mu_m}{\sigma Z_n} \right)^2 \right]}{\prod_{\substack{l=0 \\ l \neq m}}^{N-1} \left[1 - \left(\frac{\mu_m}{\mu_l} \right)^2 \right]} \quad m = 0, 1, \dots, N-1 \quad (4.12)$$

Asimptotik fonksiyon $F_a(\mu_m, 0)$ 'nın $m \geq N$ için sifıra eşit olduğu da unutulmamalıdır. Son olarak katsayılar aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$B_m = \begin{cases} \frac{-Cj2\mu_m^2}{J_1(\mu_m\pi)} \frac{\prod_{n=1}^{N-1} \left[1 - \left(\frac{\mu_m}{\sigma Z_n}\right)^2\right]}{\prod_{\substack{l=0 \\ l \neq m}}^{N-1} \left[1 - \left(\frac{\mu_m}{\mu_l}\right)^2\right]} & m = 0, 1, \dots, N-1 \\ 0 & m = N, N+1, \dots \end{cases} \quad (4.13)$$

C sabiti asimptotik fark ışıma diyagramının tepe noktası bir olacak şekilde (yani $F_a(\sigma p_0, 0) = 1$) hesaplanır.

Bu gerçekleştirilebilir iki parametrelili fark ışıma diyagramı model fonksiyonuna asimptotiktir. Parametrelerden A ışıma diyagramının yan kulakçık seviyesini kontrol etmek için kullanılırken N de merkez bölgenin boyutunu belirlemek için kullanılır yani model fonksiyonuna yaklaşıklık derecesini kontrol eder.

İşıma diyagramı fonksiyonunun faydası diyagramdan elde edilen tasarım verisinin kullanılabilirliği ile belirlenir. Katsayılar hesaplanarak açıklık fonksiyonu oluşturulduğunda çeşitli parametrelerin etkileri gözlemlenebilir. Örneğin N sabit tutulduğunda yan kulakçık seviyesindeki artış tepe değerinde azalmaya yol açar aynı zamanda kenar aydınlatmasının da artmasına neden olur. Benzer şekilde yan kulakçık seviyesi sabit tutulduğunda N 'nin artışı tepe değerinin değişimine çok az etki eder ancak kenar aydınlatmasını ciddi şekilde artırır. Bu tip ışıma diyagramı sentezinin önemli karakteristiklerinden biri N 'in artışıyla kenar aydınlanmasının da artmasıdır.

Patern fonksiyonu incelendiğinde ilk birkaç yan kulakçık seviyesinin bastırılabilmesi için N değerinin mümkün olduğunca küçük tutulması sonucuna varılabilir. N parametresinin değişimi en iyi şekilde yan kulakçık seviyesi sabit tutularak anlaşılabilir. N 'nin değeri arttıkça yan kulakçık seviyelerinin birbirlerine daha eşit olmaya başladığı görülür. Aynı zamanda etkilenen bölge de artmaktadır.

Yan kulakçıklar daha detaylı incelendiğinde $u = N$ noktasında bir bükülmenin olduğu görülmektedir. Bu bükülme sıfır noktaları düzenlenmiş olan merkez bölgesi ile doğal zayıflama zarfı $u^{-3/2}$ olan uzak yan kulakçık bölgesi arasındaki geçişten kaynaklanmaktadır.

Ayrıca çeşitli istenilmeyen durumların (ohmik kayıplar ile yüksek hassasiyet hatası gibi) engellenmesi için N parametresi $N < 2a/\lambda$ olacak şekilde seçilmelidir.

Fark ışıma diyagramı için önemli parametreler yönlendiricilik ve açılal hassasiyettir.

Yönlendiricilik aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$G(u, \emptyset) = \frac{4\pi^2 a^2}{\lambda^2} \frac{\frac{4}{\pi} |F(u, \emptyset)|^2}{\int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^\pi |g(p, \varphi)|^2 p dp} \quad (4.14)$$

Bu tanım Silver'in çalışmalarına dayanmaktadır ve aşağıdaki varsayımlar altında tanımlanmıştır.

- Eğrilik faktörü etkisi ihmal edilmiştir.
- Anten dalgaboyuna göre yeteri kadar büyük olarak alınmıştır.
- Antendeki ohmik kayıpların etkileri ihmal edilmiştir.

Fark ışıma diyagramında en yüksek yönlendiricilik fark hüzmesinin tepe değerinde $(u_1, \emptyset_1)$ oluşur. Işıma diyagramındaki en yüksek yönlendiricilik değerinin en yüksek açıklık yönlendiriciliğe normalize edilmesiyle bağlı yönlendiricilik elde edilir.

$$\eta = \frac{G(u_1, \emptyset_1)}{G_0} = \frac{\frac{4}{\pi} |F(u_1, \emptyset_1)|^2}{\int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^\pi |g(p, \emptyset)|^2 p dp} \quad (4.15)$$

Bağıl yönlendiriciliğin hesabı asimptotik fark ışıma diyagramı için yapıldığında aşağıdaki eşitlik elde edilmektedir.

$$\eta = \frac{8}{\pi^4} \{ \sum_{l=0}^{N-1} |B_l|^2 J_1^2(\mu_l \pi) [1 - (\mu_l \pi)^{-2}] \}^{-1} \quad (4.16)$$

En yüksek bağlı yönlendiricilik değerini veren bir tane N değeri vardır.

Fark ışıma diyagramlarının en önemli karakteristiklerinden biri de açısal hassasiyettir. Açısal hassasiyet fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanmıştır [21].

$$K(u) = \frac{\partial G^{1/2}(u, \emptyset_1)}{\partial u} \quad (4.17)$$

Bir ışıma diyagramının açı hassasiyetinin en yüksek değeri $K(0)$ olarak ifade edilmektedir. Açıklık fonksiyonu için en yüksek açısal hassasiyet aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$K_0 = \frac{\pi}{2} G_0^{\frac{1}{2}} \quad (4.18)$$

Bağıl açısal hassasiyet ise ışıma diyagramının en yüksek açısal hassasiyet değerini açıklık fonksiyonun en yüksek açısal hassasiyet değerine normalize ederek bulunur.

$$\delta = \frac{K(0)}{K_0} = \frac{2}{\pi} \eta^{1/2} \left| \frac{\partial F(u, \emptyset_1)}{\partial u} \right|_{u=0} \quad (4.19)$$

$u = 0$ 'da fark ışıma diyagramının kısmi türev terimleri hesaplandığında bağıl açı hassasiyeti aşağıdaki eşitlikteki gibi ifade edilir.

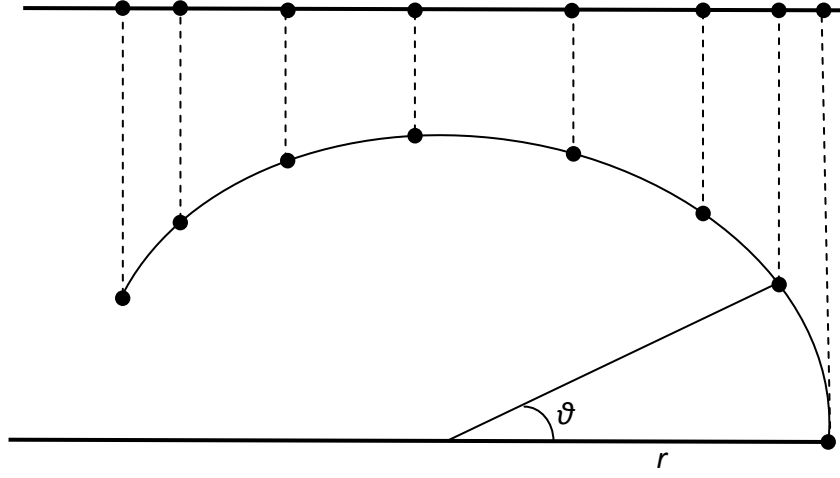
$$\delta = \eta^{1/2} \sum_{l=0}^{N-1} B_l \frac{J_1(\mu_l \pi)}{\mu_l^2} \quad (4.20)$$

Bağıl açı hassasiyetinin yan kulakçık seviyesine olan bağlılığı bağıl yönlendiriciliğe göre daha azdır.

4.1 Eş aralıklı Olmayan Dizi Antenler İçin Fark Işıma Diyagram Fonksiyonu

Dost düşman tanıma sisteminde kullanılan dairesel diziler hüzme tarama yapabilmek için anahtarlama tekniğini kullanmaktadırlar. Diziyi oluşturan elemanların tamamı aynı anda beslenmez. Çünkü bu durumda yönsüz bir ışıma diyagramı elde edilir. Ancak dost düşman tarama sistemleri hedefi tespit edebilmek için yönlü bir ışıma diyagramına ihtiyaç duyarlar. Bu nedenle diziyi oluşturan elemanların belli bir kısmı beslenerek hem toplam hem de fark ışıma diyagramı için bir hüzme oluşturulur. Daha sonra beslenen elemanların birincisi kapalı konuma getirilir ve son beslenen elemandan bir sonra gelen eleman aktif hale getirilir. Bu şekilde bir eleman kaydırarak antenler beslenir ve hüzme tarama yapılır. Ancak sistem içerisinde beslenen dizi ne bir doğrusal dizidir ne de bir dairesel dizidir. Bu nedenle özellikle fark ışıma diyagramında bilinen teknikler yan kulakçık bastırmada etkili olamamaktadır. Çünkü bu teknikler genellikle doğrusal diziler için uygulanmıştır. Bu tezin ana amacı da ne dairesel ne de doğrusal gibi davranan bu dost düşman tanıma anten sistemi için fark ışıma diyagramında yan kulakçıkları bastırabilecek bir ışıma diyagramı fonksiyonu ile dizi antenlerine uygulanacak besleme genlik katsayılarını elde etmektir. Bu amaçla sistemde aynı anda beslenen anten dizilerinin x eksenine üzerine iz düşümü alınarak bir eş aralıklı olmayan dizi oluşturulmuş daha sonra bu dizinin fark ışıma diyagramı fonksiyonu bir çizgisel kaynak için elde edilmiş ardından yan kulakçıkları bastırabilmek amacıyla dizi antenlerine uygulanan besleme genlik katsayıları hesaplanmıştır.

Dost düşman tanıma sistemindeki aynı anda beslenen elemanların eş aralıklı olmayan bir diziye dönüşüm işlemi Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Dairesel diziden eş aralıklı olmayan doğrusal diziye dönüşüm

Eş aralıklı olmayan dizide elemanların pozisyonları yani x eksenindeki yerleri besleme genlik katsayılarını hesaplamada kullanılmaktadır. Şekildende görüldüğü gibi birinci elemanın pozisyonu doğrudan dizinin yarıçapına eşittir. Diğer elemanların pozisyonları ise aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$x_i = r \cos([(i - 1) * \theta] + k) \quad i = 2, 3, 4 \dots \quad (4.21)$$

Burada k eleman pozisyonları hesaplanırken simetri elde edebilmek için eklenen döndürme açısıdır.

Eş aralıklı olmayan dizi elde edildikten sonra bu dizi için fark ışıma diyagramı fonksiyonu elde edilmelidir. Bu amaçla bir çizgisel kaynak kullanılmalı ve bu bölümün ilk kısmında anlatıldığı üzere bir model fonksiyonu ve bir asimptotik fark ışıma diyagram fonksiyonu elde edilmelidir. Asimptotik fark ışıma diyagramı oluşturulduktan sonra artık uygun besleme genlik katsayıları çeşitli hesaplar sonucunda elde edilebilir.

Çizgisel kaynaktan ışıma diyagramı fonksiyonuna dönüşüm bir sonlu Fourier dönüşümüdür. Böylelikle çizgisel bir kaynak için ışıma diyagramı fonksiyonu genel olarak aşağıdaki gibi ifade edilebilir [13].

$$F(u) = \int_{-\pi}^{\pi} g(x) e^{jux} dx \quad (4.22)$$

Burada $u = (2a/\lambda)\sin\theta$, $2a$ çizgisel kaynağın uzunluğudur ve x' 'de π/a' 'ya göre normalize edilmiştir. $g(x)$ açıklık fonksiyonunu ifade etmektedir ve tek fonksiyon olabilmesi için sinüs serisi cinsinden ifade edilmiştir.

$$g(x) = \begin{cases} \sum_{l=0}^{N-1} B_l \sin \mu_l x; & -\pi \leq x \leq \pi \\ 0; & \text{dışında} \end{cases} \quad (4.23)$$

Eşitlik (4.23)'teki ışınma diyagram fonksiyonu yeniden düzenlenirse

$$F(u) = 2j \sum_{l=0}^{N-1} B_l \frac{(-1)^l u \cos u \pi}{(l+\frac{1}{2})^2 - u^2} \quad (4.24)$$

İstenilen model fonksiyonu $F_M(u)$ yine sıfırlar cinsinden ifade edilmektedir.

Genişleme faktörü ise,

$$\sigma = \frac{\mu_N}{Z_N} = \frac{N+\frac{1}{2}}{Z_N} \quad (4.25)$$

Asimptotik fonksiyon kanonik çarpım ile aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$F_a(u) = Cu \prod_{n=1}^{N-1} \left\{ 1 - \left(\frac{u}{\sigma Z_N} \right)^2 \right\} \prod_{l=N}^{\infty} \left\{ 1 - \left(\frac{u}{\mu_l} \right)^2 \right\} \quad (4.26)$$

Asimptotik fark ışınma diyagramının kapalı formda ifadesi ise,

$$F_a(u) = Cu \cos(\pi u) \left\{ \frac{\prod_{n=1}^{N-1} 1 - \left(\frac{u}{\sigma Z_N} \right)^2}{\prod_{l=0}^{N-1} 1 - \left(\frac{u}{\mu_l} \right)^2} \right\} \quad (4.27)$$

B_m Bessel katsayıları Eşitlik (4.27) $u = \mu_m$ noktasında hesaplanıp eşitlik (4.24)'e eşitlenerek hesaplanır. Eşitlik (4.24) $u = \mu_m$ hesaplandığında aşağıdaki ifade elde edilir.

$$F(\mu_m) = \lim_{u \rightarrow \mu_m} F_a(u) = j\pi B_m \quad (4.28)$$

$\mu_n = n + 1/2$ konulduğunda Bessel katsayıları aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$B_m = \begin{cases} \frac{c}{2j} (-1)^m (m - \frac{1}{2})^2 \frac{\prod_{n=1}^{N-1} \left[1 - \left(\frac{m+\frac{1}{2}}{\sigma Z_N} \right)^2 \right]}{\prod_{\substack{l=0 \\ l \neq m}}^{N-1} \left[1 - \left(\frac{m+\frac{1}{2}}{l+\frac{1}{2}} \right)^2 \right]}; & m = 0, 1, 2, \dots, N-1 \\ 0; & m = N, N+1, \dots \end{cases} \quad (4.29)$$

N sonsuza gidecek kadar artırılırsa $\sigma \rightarrow 1$ olacaktır ve $F_a(u)$ 'nin sıfırları $F_M(u)$ 'nin sıfırlarına yakınsar.

$$\lim_{N \rightarrow \infty} F_a(u) = F_M(u) \quad (4.30)$$

Bessel katsatıları hesaplandıktan sonra diziyi oluşturan elemanların besleme genlik katsayıları hesaplanabilir. Bunun için açıklık fonksiyonun düzenlenmiş hali yazılırsa,

$$g(x) = \sum_{n=0}^{N-1} \sin \left[\left(\frac{2\pi x}{L} \right) \left(n + \frac{1}{2} \right) \right] B_n \quad (4.31)$$

Eşitlik (4.31)'deki x ifadesi dizi elemanlarının pozisyonlarını göstermektedir ve eş aralıklı olmayan bir dizi için eşitlik (4.21)'de verildiği gibidir. L ise dizi açıklığını göstermektedir. Bu şekilde besleme genlik katsayıları Eşitlik (4.31) ile bir bilgisayar programı kullanılarak hesaplanabilir. Hesaplanan bu besleme katsayılarına göre oluşan ışıma diyagramlarına ilişkin benzetim çalışmaları bir sonraki bölümde verilmiştir.

BÖLÜM 5

BENZETİM ÇALIŞMALARI

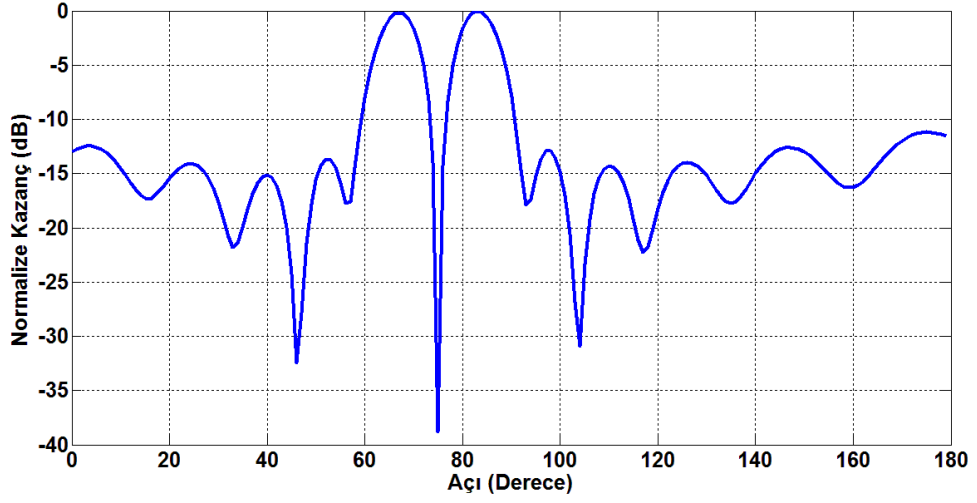
Bir önceki bölümde elde edilen Bayliss katsayıları açıklık fonksiyonuna uygulandığında dizi elemanları için gerek duyulan besleme genlik katsayıları hesaplanmaktadır. Bu hesaplanan besleme genlik katsayıları tam dalga çözüm yapan CST programı ile oluşturulan dairesel ve eş aralıklı olmayan dizilere uygulanmış ve ışıma diyagramı analizleri gerçekleştirilmiştir. Üç farklı anten yapısının kullanıldığı anten dizileri oluşturulmuştur ve böylece anten elemanının ışıma diyagramının oluşan fark ışıma diyagramlarına olan etkisi incelenmiştir. Kullanılan anten elemanları ise dipol, Yagi ve yama anten olarak seçilmiştir. Yama antenler ile yüzey uyumlu dairesel diziler oluşturulmuştur.

İlk olarak geleneksel besleme katsayıları kullanıldığında elde edilen fark ışıma diyagramları analiz edilmiştir. Analiz sonuçları ışıma diyagramlarının yan kulakçık seviyelerinin kabul edilemez oranda yüksek olduğunu göstermektedir. Bu sonuçların ardından tez kapsamında belirtilen ve hesapları yapılan genlik katsayıları kullanıldığında bu yan kulakçık seviyelerinin istenilen değerlere çekilebildiği gösterilmiştir.

Geleneksel besleme katsayılarının kullanıldığı benzetim çalışmalarının sonuçları sırasıyla aşağıdaki gibidir.

36 adet dipol antenden oluşan ve bu elemanlardan aynı anda 16 tanesinin beslendiği dairesel dizi için elemanlar arası mesafe dalgaboyunun 0.43 katı olduğunda -25dB yan kulakçık seviyesi elde etmek için geleneksel besleme katsayıları kullanıldığında elde

edilen fark ışıma diyagramı Şekil 5.1’de, besleme genlik katsayıları ise Çizelge 5.1’de gösterilmiştir.

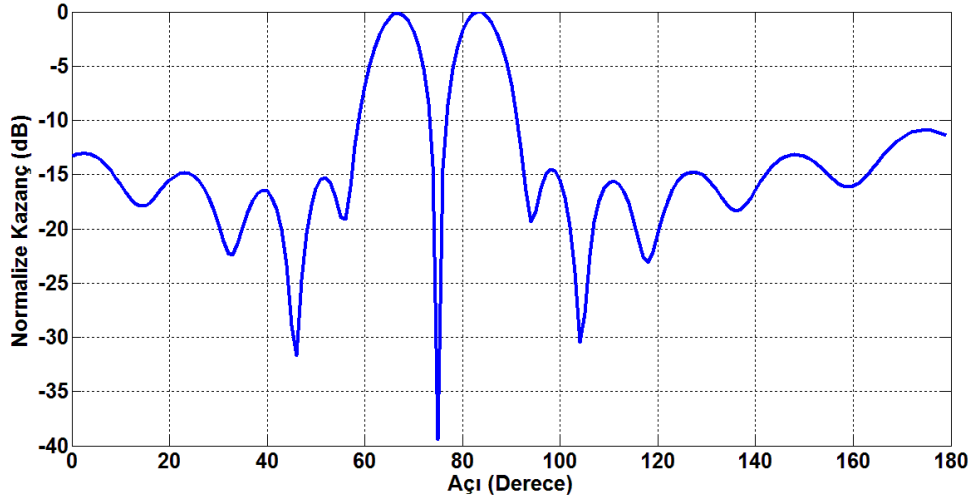


Şekil 5.1 16/36 dipol dairesel dizi -25 dB yan kulakçık seviyesi için geleneksel besleme durumundaki fark ışıma diyagramı

Çizelge 5.1 16/36 dipol dairesel dizi -25 dB yan kulakçık seviyesi için geleneksel besleme katsayıları

1/8	0.4730	0.6158	0.8213	0.9763	1	0.8704	0.5980	0.2142
9/16	0.2142	0.5980	0.8704	1	0.9763	0.8213	0.6158	0.4730

36 adet dipol antenden oluşan ve bu elemanlardan aynı anda 16 tanesinin beslendiği dairesel dizi için elemanlar arası mesafe dalgaboyunun 0.43 katı olduğunda -30dB yan kulakçık seviyesi elde etmek için geleneksel besleme katsayıları kullanıldığında elde edilen fark ışıma diyagramı Şekil 5.2’de, besleme genlik katsayıları ise Çizelge 5.2’de gösterilmiştir.

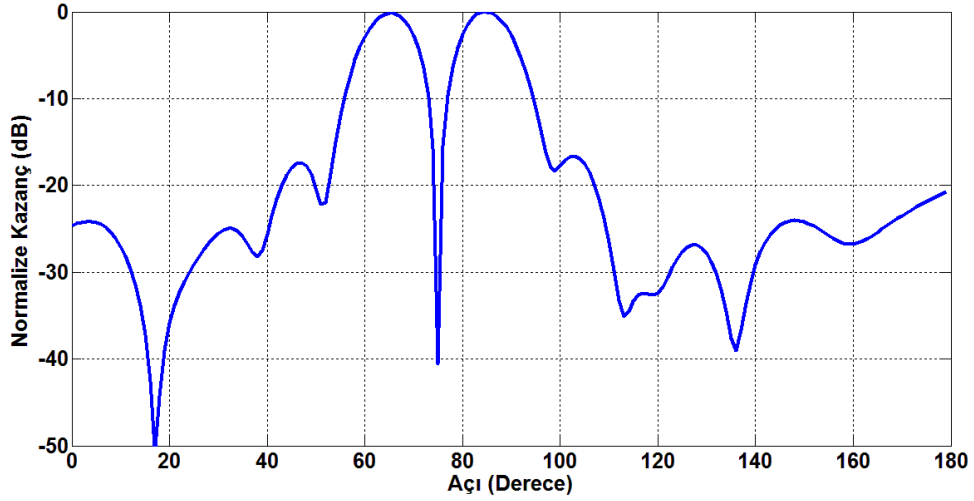


Şekil 5.2 16/36 dipol dairesel dizi -30 dB yan kulakçık seviyesi için geleneksel besleme durumundaki fark ışıma diyagramı

Çizelge 5.2 16/36 dipol dairesel dizi -25 dB yan kulakçık seviyesi için geleneksel besleme katsayıları

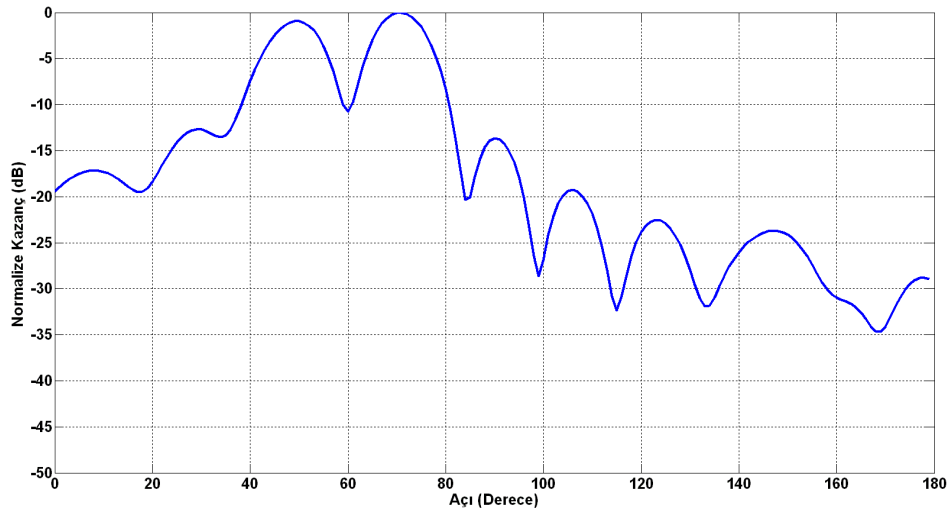
1/8	0.3439	0.5132	0.7486	0.9349	1	0.9036	0.6340	0.2284
9/16	0.2284	0.6340	0.9036	1	0.9349	0.7486	0.5132	0.3439

36 adet Yagi antenden oluşan ve bu elemanlardan aynı anda 16 tanesinin beslendiği dairesel dizi için elemanlar arası mesafe dalgaboyunun 0.378 katı olduğunda -30dB yan kulakçık seviyesi elde etmek için geleneksel besleme katsayıları kullanıldığında elde edilen fark ışıma diyagramı Şekil 5.3'te gösterilmiştir. Besleme genlik katsayıları ise Çizelge 5.2 ile aynıdır.



Şekil 5.3 16/36 Yagi dairesel dizi -30 dB yan kulakçık seviyesi için geleneksel besleme durumundaki fark ışıma diyagramı

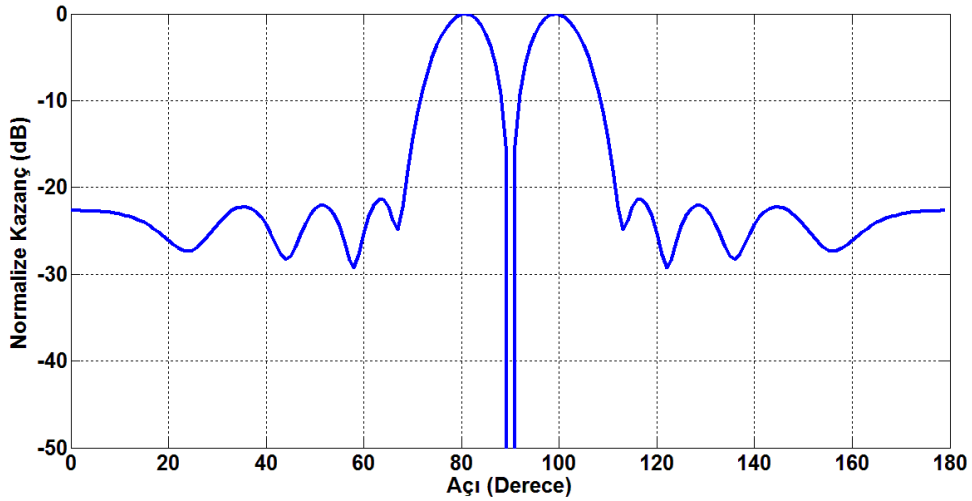
36 adet yama antenden oluşan ve bu elemanlardan aynı anda 16 tanesinin beslendiği yüzey uyumlu dairesel dizi için elemanlar arası mesafe dalgaboyunun 0.378 katı olduğu durumda -25dB yan kulakçık seviyesi elde etmek için geleneksel besleme katsayıları kullanıldığında elde edilen fark ışıma diyagramı  ekil 5.4'te gösterilmiştir. Besleme genlik katsayıları ise  izelge 5.1 ile aynıdır.



Şekil 5.4 16/36 yama yüzey uyumlu dairesel dizi -25 dB yan kulakçık seviyesi için geleneksel besleme durumundaki fark ışıma diyagramı

Yukarıdaki ışıma diyagramı sonuçlarından da görüldüğü gibi eş aralıklı diziler için hesaplanan genlik katsayıları dairesel dizilerde yan kulakçık seviyelerini düşürememektedir. Bu nedenle dairesel dizilerin eş aralıklı olmayan dizilere dönüştürülmesi sonucu elde edilen genlik katsayıları kullanılmış ve ilgili ışıma diyagramı sonuçları aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

Dairesel dizinin beslenen kısmının iz düşüm alınarak oluşturulan 16 adet dipol antenden oluşan eş aralıklı olmayan dizi için elemanlar arası mesafe dalgaboyunun 0.41 katı olduğu durumda -25dB yan kulakçık seviyesi elde etmek için hesaplanan besleme katsayıları kullanıldığında elde edilen fark ışıma diyagramı Şekil 5.5'te besleme genlik katsayıları ise Çizelge 5.3 gösterilmiştir.



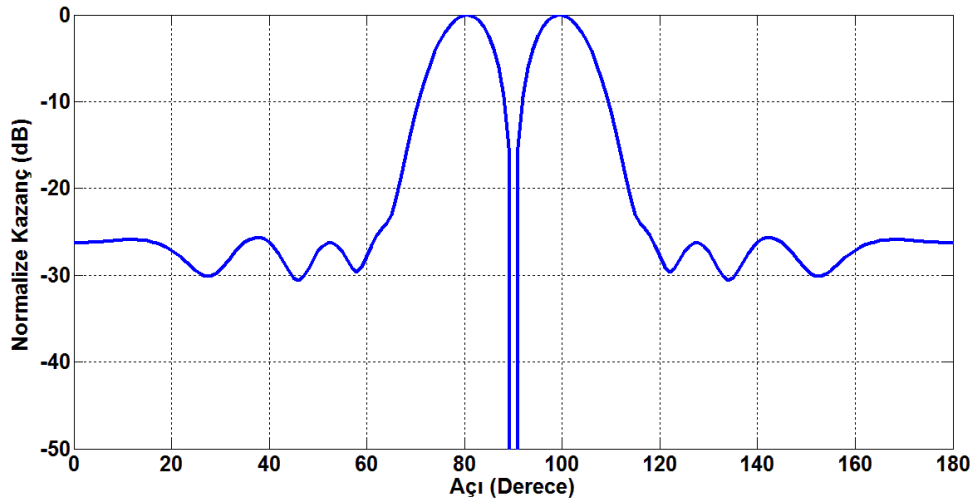
Şekil 5.5 Dipol eş aralıklı olmayan doğrusal dizi -25 dB yan kulakçık seviyesi için hesaplanan katsayılarla elde edilen fark ışıma diyagramı

Çizelge 5.3 Dipol eş aralıklı olmayan doğrusal dizi -25 dB yan kulakçık seviyesi için hesaplanan besleme katsayıları

1/8	0.4507	0.4565	0.5291	0.7065	0.9236	1	0.8005	0.3136
9/16	0.3136	0.8005	1	0.9236	0.7065	0.5291	0.4565	0.4507

Dairesel dizinin beslenen kısmının iz düşüm alınarak oluşturulan 16 adet dipol antenden oluşan eş aralıklı olmayan dizi için elemanlar arası mesafe dalgaboyunun 0.41 katı olduğu durumda -30dB yan kulakçık seviyesi elde etmek için hesaplanan

besleme katsayıları kullanıldığında elde edilen fark ışıma diyagramı Şekil 5.6'da besleme genlik katsayıları ise Çizelge 5.4 gösterilmiştir.

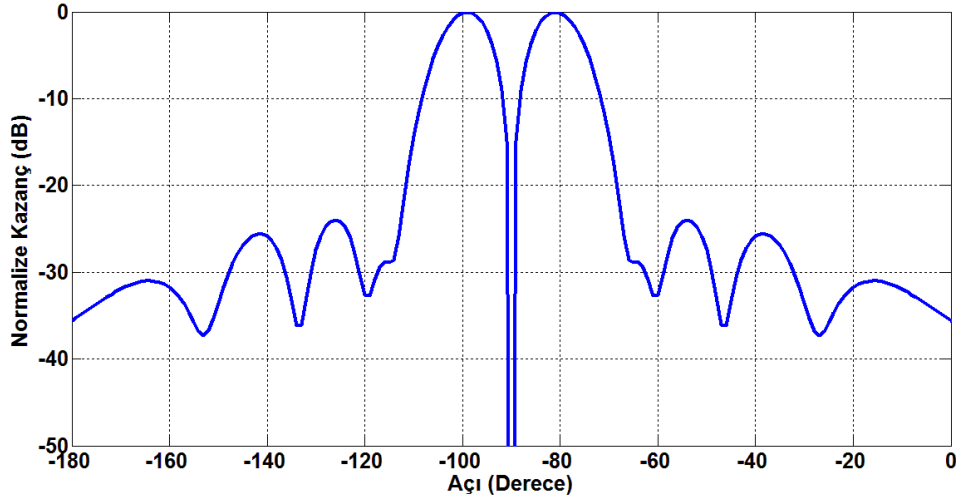


Şekil 5.6 Dipol eş aralıklı olmayan doğrusal dizi -30 dB yan kulakçık seviyesi için hesaplanan katsayılara göre elde edilen fark ışıma diyagramı

Çizelge 5.4 Dipol eş aralıklı olmayan doğrusal dizi -30 dB yan kulakçık seviyesi için hesaplanan besleme katsayıları

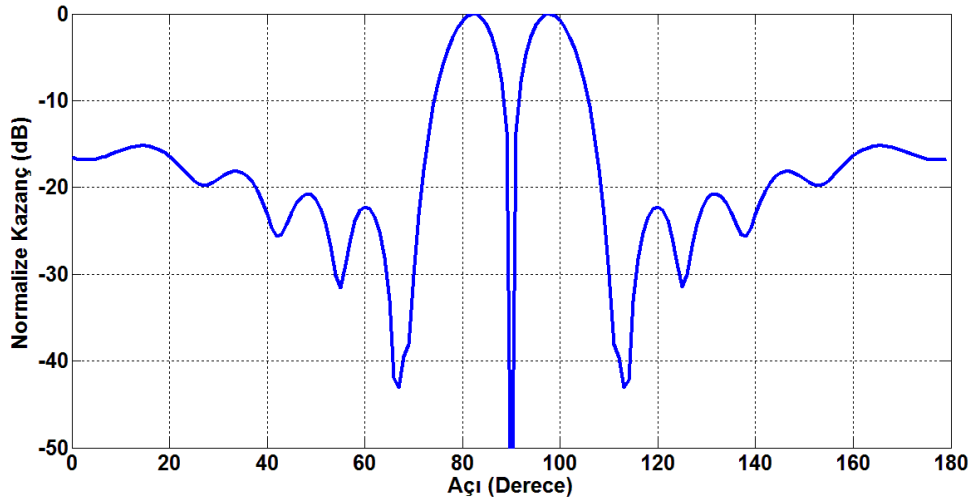
1/8	0.3196	0.3266	0.4144	0.6217	0.8735	1	0.8419	0.3358
9/16	0.3358	0.8419	1	0.8735	0.6217	0.4144	0.3266	0.3196

Dairesel dizinin beslenen kısmının iz düşüm alınarak oluşturulan 16 adet Yagi antenden oluşan eş aralıklı olmayan dizi için elemanlar arası mesafe dalgaboyunun 0.41 katı olduğu durumda -30dB yan kulakçık seviyesi elde etmek için hesaplanan besleme katsayıları kullanıldığında elde edilen fark ışıma diyagramı Şekil 5.7'de gösterilmiştir. Besleme genlik katsayıları ise Çizelge 5.4 ile aynıdır.



Şekil 5.7 Yagi eş aralıklı olmayan doğrusal dizi -30 dB yan kulakçık seviyesi için hesaplanan katsayılara göre elde edilen fark ışıma diyagramı

36 adet dipol antenden oluşan ve bu elemanlardan aynı anda 16 tanesinin beslendiği dairesel dizi için elemanlar arası mesafe dalgaboyunun 0.5 katı olduğu durumda -30dB yan kulakçık seviyesi elde etmek için tez kapsamında hesaplanan besleme katsayıları kullanıldığında elde edilen fark ışıma diyagramı Şekil 5.8’de, besleme genlik katsayıları ise Çizelge 5.5’de gösterilmiştir.



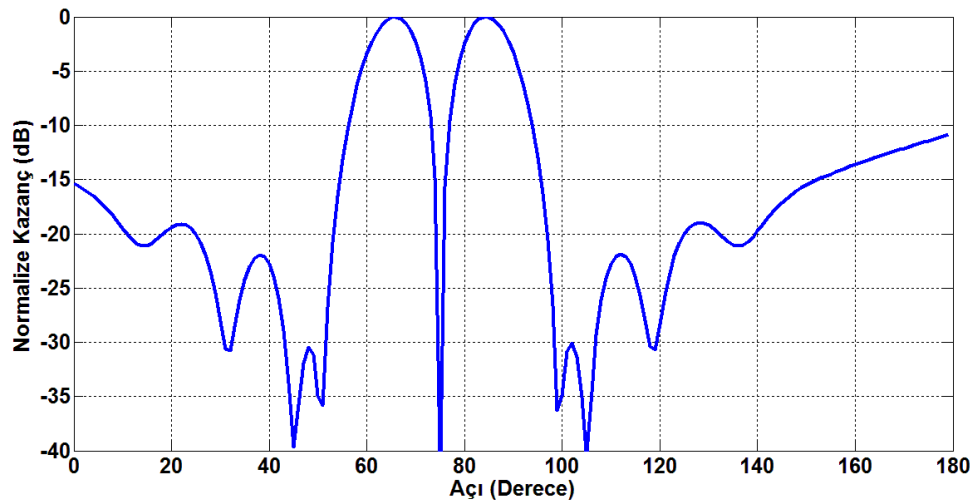
Şekil 5.8 16/36 dipol dairesel dizi -30 dB yan kulakçık seviyesi için hesaplanan katsayılara göre elde edilen fark ışıma diyagramı

Çizelge 5.5 16/36 dipol dairesel dizi -30 dB yan kulakçık seviyesi için hesaplanan besleme katsayıları

1/8	0.3196	0.3430	0.4258	0.6657	0.8975	1	0.8272	0.3234
9/16	0.3234	0.8272	1	0.8975	0.6657	0.4258	0.3430	0.3196

Dipol dairesel dizilerde eş aralıklı olmayan dizilerden farklı olarak yan kulakçık seviyeleri ana hüzmenden uzaklaştıkça artış göstermektedir. Bu durumun uçtaki elemanların ışıma diyagramlarının ana hüzmene olduğu açıya olan katkılarının düşük olmasından kaynaklandığı düşünülmüş ve bu nedenle uçtaki elemanların besleme genlik katsayılarının daha düşük tutulduğu denemeler gerçekleştirilmiştir.

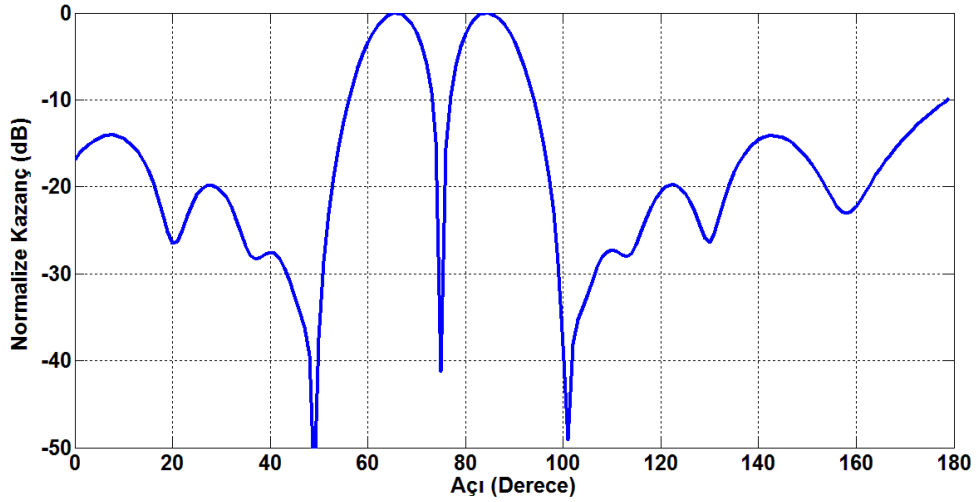
36 adet dipol antenden oluşan ve bu elemanlardan aynı anda 16 tanesinin beslendiği dairesel dizi için elemanlar arası mesafe dalgaboyunun 0.43 katı olduğunda -30dB yan kulakçık seviyesi elde etmek için tez kapsamında hesaplanan besleme katsayıları kullanıldığında ve uçtaki ilk elemanların genlik katsayıları on kat düşürüldüğünde elde edilen fark ışıma diyagramı Şekil 5.9'da gösterilmiştir. Besleme genlik katsayıları ise Çizelge 5.4 ile aynıdır.



Şekil 5.9 16/36 dipol dairesel dizi -30 dB yan kulakçık seviyesi için hesaplanan katsayılar kullanıldığında ve uçtaki ilk elemanların katsayıları on kat azaltıldığında elde edilen fark ışıma diyagramı

36 adet dipol antenden oluşan ve bu elemanlardan aynı anda 16 tanesinin beslendiği dairesel dizi için elemanlar arası mesafe dalgaboyunun 0.43 katı olduğunda -30dB yan

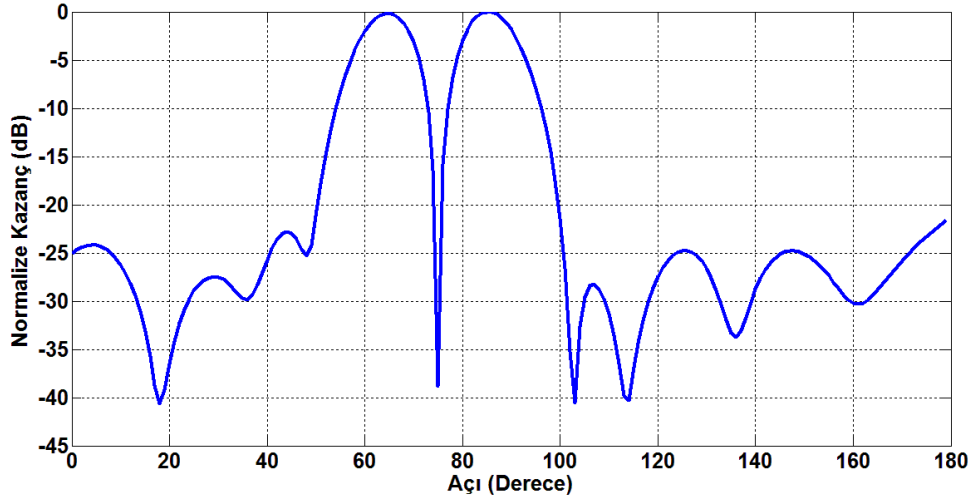
kulakçık seviyesi elde etmek için tez kapsamında hesaplanan besleme katsayıları kullanıldığında ve uçtaki ikinci elemanın genlik katsayısı on kat düşürüldüğünde elde edilen fark ışıma diyagramı Şekil 5.10'da gösterilmiştir. Besleme genlik katsayıları ise Çizelge 5.4 ile aynıdır.



Şekil 5.10 16/36 dipol dairesel dizi -30 dB yan kulakçık seviyesi için hesaplanan katsayılar kullanıldığında ve uçtaki ikinci elemanların katsayıları on kat azaltıldığında elde edilen fark ışıma diyagramı

Dipol dairesel dizi antenlerde yan kulakçıkların ana hüzmeden uzaklaştıkça artmasının nedeni uçtaki elemanlar olduğu varsayılmıştı. Ancak uçtaki elemanların besleme genlik katsayıları on kat kadar azaltıldığı durumda bu artışın değişmediği görülmüştür. Bu nedenle yan kulakçıkların bu artışının dipol antenlerin yönsüz ışıma diyagramından kaynaklanabileceği düşünülmüş ve yönlü ışıma diyagramına sahip olan Yagi anten dizilerine geçiş yapılmıştır.

36 adet Yagi antenden oluşan ve bu elemanlardan aynı anda 16 tanesinin beslendiği dairesel dizi için elemanlar arası mesafe dalgaboyunun 0.378 katı olduğunda -30dB yan kulakçık seviyesi elde etmek için tez kapsamında hesaplanan besleme katsayıları kullanıldığında elde edilen fark ışıma diyagramı Şekil 5.11'de besleme genlik katsayıları ise Çizelge 5.6'da gösterilmiştir.



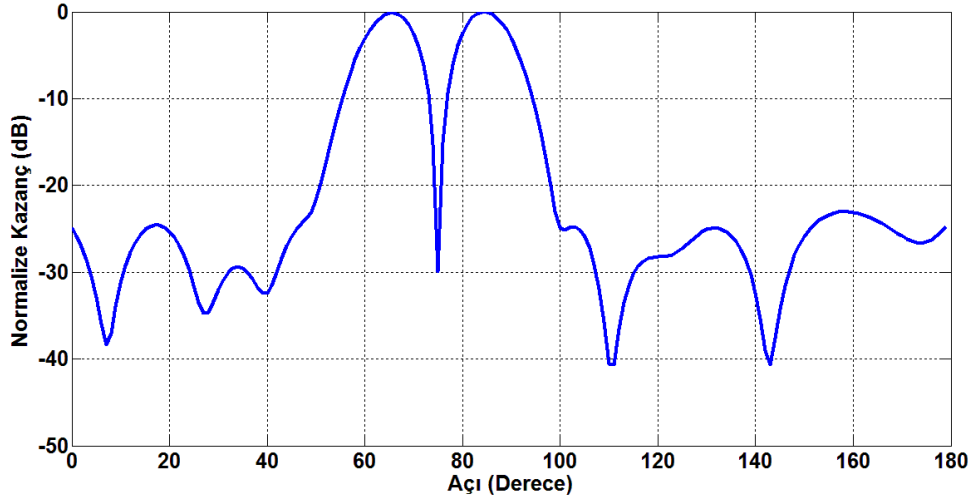
Şekil 5.11 16/36 Yagi dairesel dizi -30 dB yan kulakçık seviyesi için hesaplanan katsayılara göre elde edilen fark ışıma diyagramı

Çizelge 5.6 16/36 Yagi dairesel dizi -30 dB yan kulakçık seviyesi için hesaplanan besleme katsayıları

1/8	0.3291	0.3761	0.5066	0.7150	0.9245	1	0.8145	0.3233
9/16	0.3233	0.8145	1	0.9245	0.7150	0.5066	0.3761	0.3291

İşıma diyagramından da görüldüğü gibi arka kulakçık seviyesi daha düşük bir anten kullanıldığında yan kulakçıklardaki yükselme azalmakta ve -20 dB'nin altında kalabilmektedir.

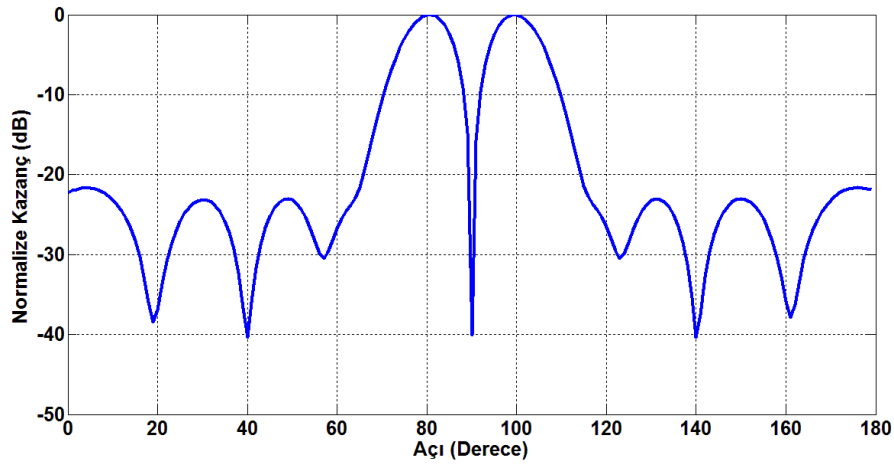
36 adet Yagi antenden oluşan ve bu elemanlardan aynı anda 16 tanesinin beslendiği dairesel dizi için elemanlar arası mesafe dalgaboyunun 0.43 katı olduğunda -30dB yan kulakçık seviyesi elde etmek için tez kapsamında hesaplanan besleme katsayıları kullanıldığında elde edilen fark ışıma diyagramı Şekil 5.12'de gösterilmiştir. Besleme genlik katsayıları ise Çizelge 5.4 ile aynıdır.



Şekil 5.12 16/36 Yagi dairesel dizi -30 dB yan kulakçık seviyesi için hesaplanan katsayılara göre elde edilen fark ışıma diyagramı

Yagi ışıma diyagramlarının simetrik olmaması CST benzetim programında diziye kapatan hesap yüzeyinin simetrik olmamasından kaynaklanmıştır. Bu nedenle dizi kutu içerisinde simetrik hale getirilmiş ve simetrik ışıma diyagramları sonuçları elde edilmiştir.

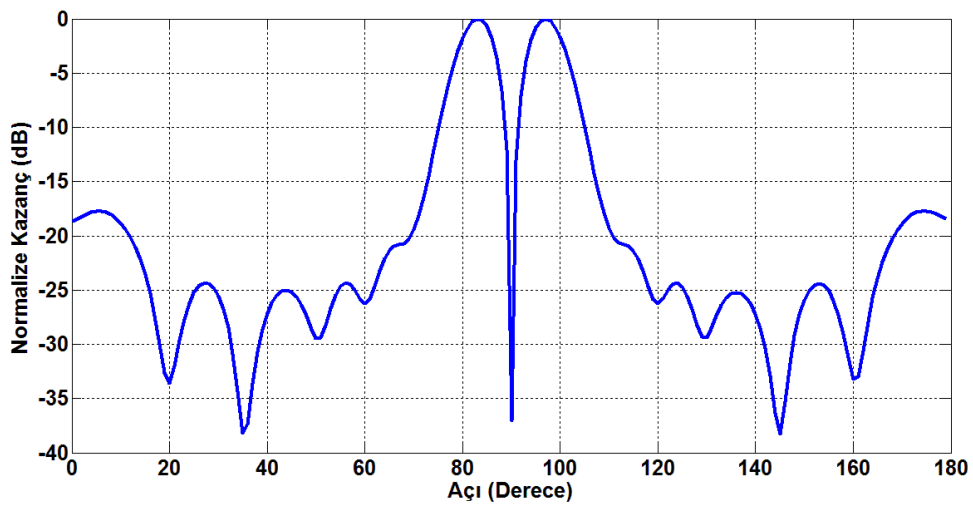
36 adet Yagi antenden oluşan ve bu elemanlardan aynı anda 16 tanesinin beslendiği dairesel dizi için elemanlar arası mesafe dalgaboyunun 0.43 katı olduğunda -30dB yan kulakçık seviyesi elde etmek için tez kapsamında hesaplanan besleme katsayıları kullanıldığında elde edilen simetrik fark ışıma diyagramı Şekil 5.13’de gösterilmiştir. Besleme genlik katsayıları ise Çizelge 5.4 ile aynıdır.



Şekil 5.13 16/36 Yagi dairesel dizi -30 dB yan kulakçık seviyesi için hesaplanan katsayılara göre elde edilen simetrik fark ışıma diyagramı

Elemanlar arası mesafenin yan kulakçık seviyesine etkisini görebilmek için elemanlar arası mesafe dalgaboyunun 0.6 katı yapılarak çeşitli analizler yapılmıştır.

36 adet Yagi antenden oluşan ve bu elemanlardan aynı anda 16 tanesinin beslendiği dairesel dizi için elemanlar arası mesafe dalgaboyunun 0.6 katı olduğu durumda -30dB yan kulakçık seviyesi elde etmek için tez kapsamında hesaplanan besleme katsayıları kullanıldığında elde edilen simetrik fark ışıma diyagramı Şekil 5.14’de besleme genlik katsayıları ise Çizelge 5.7’de gösterilmiştir.

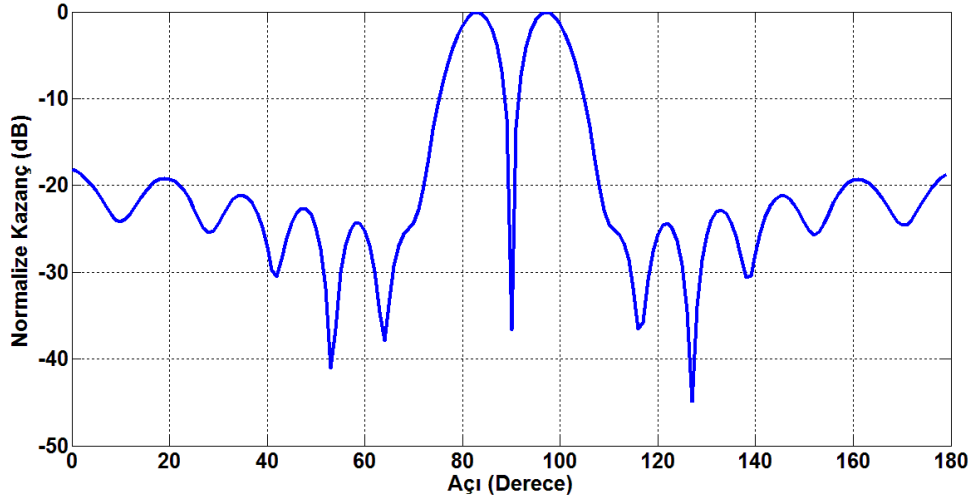


Şekil 5.14 16/36 Yagi dairesel dizi -30 dB yan kulakçık seviyesi için elemanlar arası mesafe 0.6λ iken hesaplanan katsayılara göre elde edilen simetrik fark ışıma diyagramı

Çizelge 5.7 16/36 Yagi dairesel dizi -30 dB yan kulakçık seviyesi için elemanlar arası mesafe 0.6λ iken hesaplanan besleme katsayıları

1/8	0.3196	0.3433	0.4530	0.6654	0.8978	1	0.8249	0.3233
9/16	0.3233	0.8249	1	0.8978	0.6654	0.4530	0.3433	0.3196

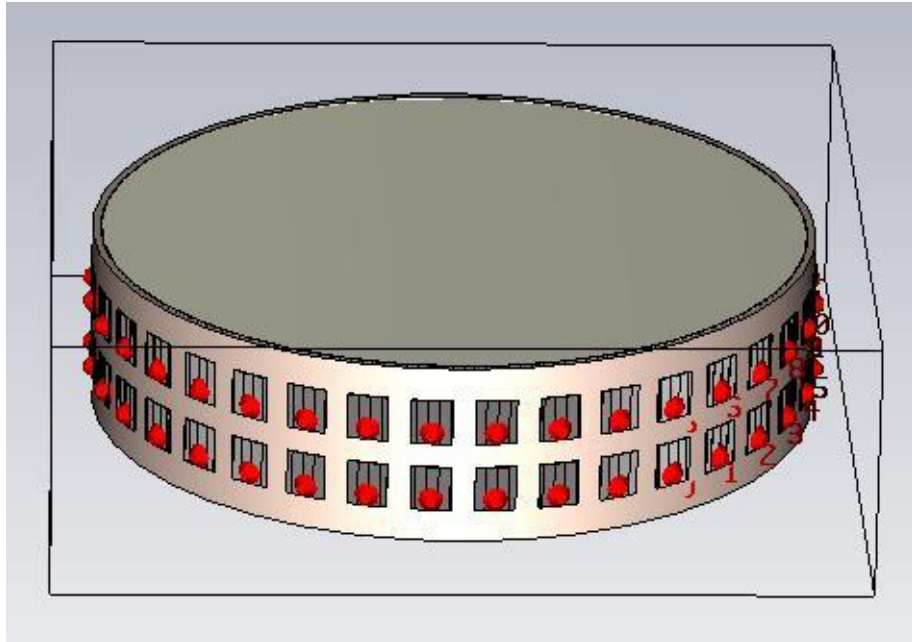
36 adet dipol antenden oluşan ve bu elemanlardan aynı anda 16 tanesinin beslendiği dairesel dizi için elemanlar arası mesafe dalgaboyunun 0.6 katı olduğu durumda -30dB yan kulakçık seviyesi elde etmek için tez kapsamında hesaplanan besleme katsayıları kullanıldığında elde edilen simetrik fark ışıma diyagramı Şekil 5.15’de gösterilmiştir. Besleme genlik katsayıları ise Çizelge 5.7 ile aynıdır.



Şekil 5.15 16/36 dipol dairesel dizi -30 dB yan kulakçık seviyesi için elemanlar arası mesafe 0.6λ iken hesaplanan katsayılara göre elde edilen simetrik fark ışıma diyagramı

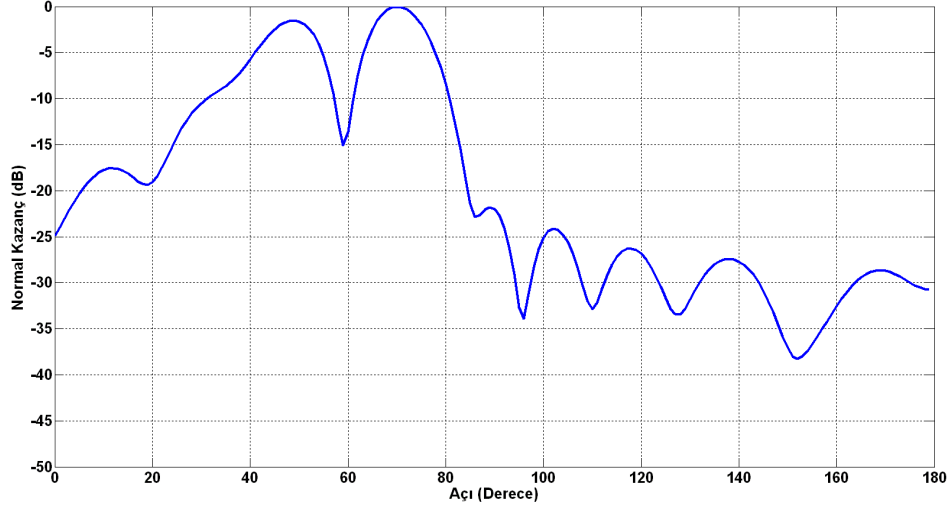
Yagi ve Dipol antenlerin 0.6λ mesafeli simülasyonlarında, elemanlar arası mesafenin artmasının özellikle dipol antendeki uç kısımlardaki yan kulakçık seviye yükselişini azalttığı görülmüştür.

Dipol ve Yagi antenlerin ardından yüzey uyumlu şekilde tasarlanan yama anten dizileri ile ilgili analizler yapılmıştır. Tez kapsamında hesaplanan besleme katsayılarının yama anten dizilerine etkisi incelenmiştir. Kullanılan yama anten dizisi Şekil 5.16'da gösterildiği gibidir.



Şekil 5.16 Yama yüzey uyumlu dairesel dizi

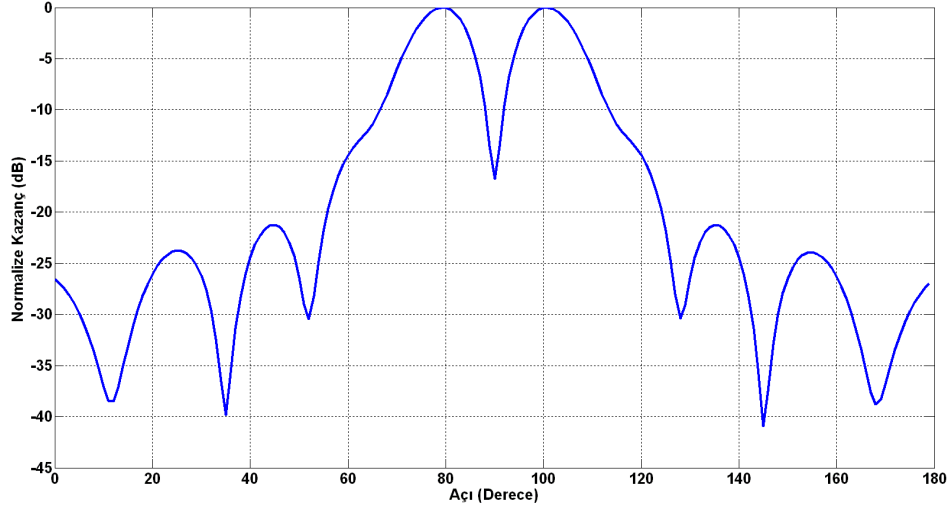
36 adet yama antenden oluşan ve bu elemanlardan aynı anda 16 tanesinin beslendiği yüzey uyumlu dairesel dizi için elemanlar arası mesafe dalgaboyunun 0.378 katı olduğu durumda -30dB yan kulakçık seviyesi elde etmek için tez kapsamında hesaplanan besleme katsayıları kullanıldığında elde edilen simetrik fark ışıma diyagramı Şekil 5.17’de gösterilmiştir. Besleme genlik katsayıları ise Çizelge 5.6 ile aynıdır.



Şekil 5.17 16/36 yama dairesel dizi -30 dB yan kulakçık seviyesi için hesaplanan katsayılara göre elde edilen fark ışıma diyagramı

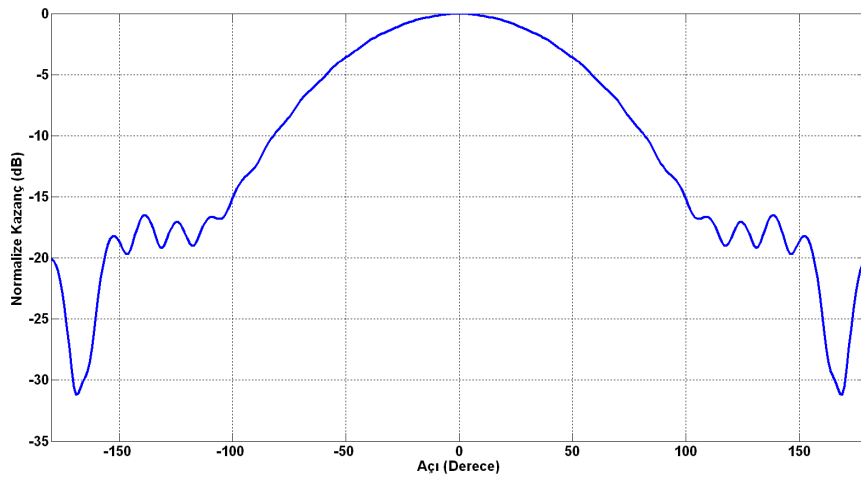
Diğer benzetim çalışmalarında da olduğu gibi yapıyı kapatan çözüm uzayı simetrik olmadığından ışıma diyagramı simetrik değildir. Dizi antenin beslenen kısmı simetrik olacak şekilde döndürüldüğünde istenilen simetrik ışıma diyagramı elde edilir.

36 adet yama antenden oluşan ve bu elemanlardan aynı anda 16 tanesinin beslendiği yüzey uyumlu dairesel dizi için elemanlar arası mesafe dalgaboyunun 0.5 katı olduğu durumda -30dB yan kulakçık seviyesi elde etmek için tez kapsamında hesaplanan besleme katsayıları kullanıldığında elde edilen simetrik fark ışıma diyagramı Şekil 5.18’de gösterilmiştir. Besleme genlik katsayıları ise Çizelge 5.5 ile aynıdır.

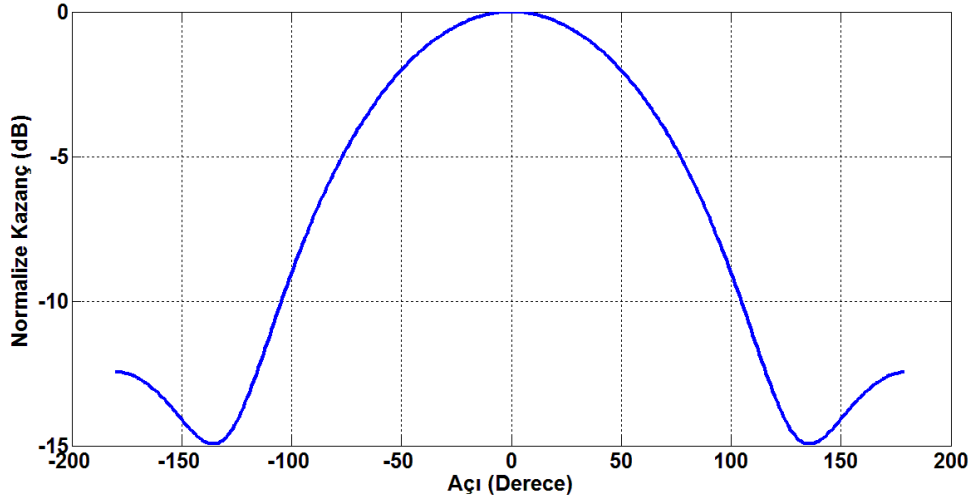


Şekil 5.18 16/36 yama dairesel dizi -30 dB yan kulakçık seviyesi için hesaplanan katsayılara göre elde edilen simetrik fark ışıma diyagramı

Yagi anten ile yüzey uyumlu yama anten sonuçlarının aynı olmamasının sebebi bu antenlerin tek başına olduklarında hüzmelerinin aynı olmamasıdır. Ana demetin döndürüldüğü açı olan 75 derecede tek bir Yagi antenin hüzmelerinin değeri -4.7 dB iken yama antenin değeri -8.5 dB'dir. Hüzmelerin 75 dereceye döndürülmesinin nedeni 36 elemanlı dizide 16 elemanın beslenmesidir. Bu şekilde dizinin orta noktası uç noktasına göre 75'lik açıda kalmaktadır. Dizinin en uçtaki elemanının fiziksel olarak baktığı yön ile dizinin ana hüzmelerinin yönü arasında 75 derecelik açı bulunmaktadır. Yagi ve yama antenlerinin ışıma diyagramları Şekil 5.19 ve Şekil 5.20'de gösterilmiştir.



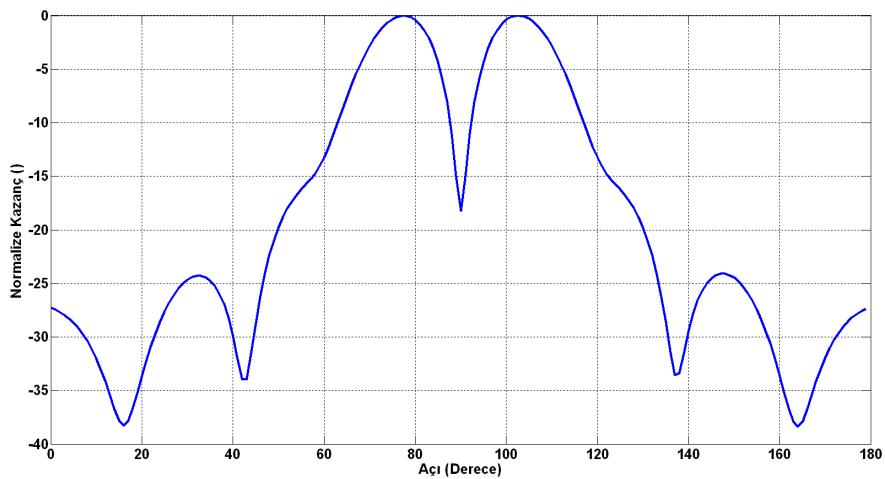
Şekil 5.19 Yama antenin ışıma diyagramı



Şekil 5.20 Yagi antenin ışıma diyagramı

16/36 elemanlı Yagi antenin ana hüzmesi 75 dereceye dönük iken, ışıma diyagramı değeri -4.7 dB idi, bu değere denk gelen yama anten ışıma diyagramının açısı ise 55 derece olarak hesaplanmıştır. Bundan dolayı 16/36 eleman yerine 12/36 elemanlı yama anten için bir benzetim çalışması yapılmıştır.

36 adet yama antenden oluşan ve bu elemanlardan aynı anda 12 tanesinin beslendiği yüzey uyumlu dairesel dizi için elemanlar arası mesafe dalgaboyunun 0.378 katı olduğu durumda -30dB yan kulakçık seviyesi elde etmek için tez kapsamında hesaplanan besleme katsayıları kullanıldığında elde edilen simetrik fark ışıma diyagramı Şekil 5.21’de besleme genlik katsayıları ise Çizelge 5.8 gösterilmiştir.



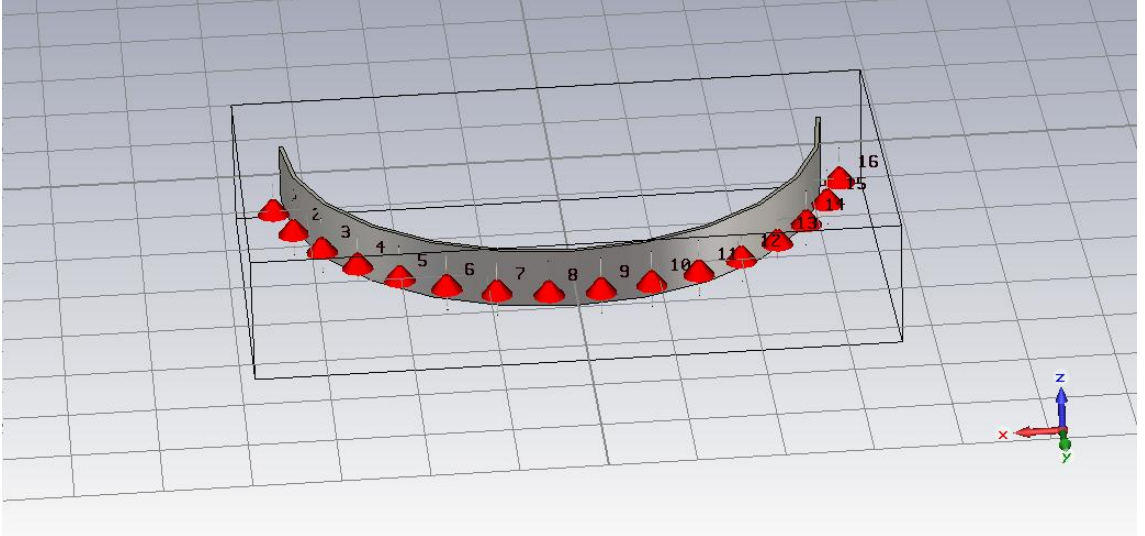
Şekil 5.21 12/36 yama dairesel dizi -30 dB yan kulakçık seviyesi için hesaplanan katsayılarla elde edilen simetrik fark ışıma diyagramı

Çizelge 5.8 12/36 yama dairesel dizi -30 dB yan kulakçık seviyesi için hesaplanan besleme katsayıları

1/6	0.333	0.485	0.780	1	0.907	0.382
7/12	0.382	0.907	1	0.780	0.485	0.333

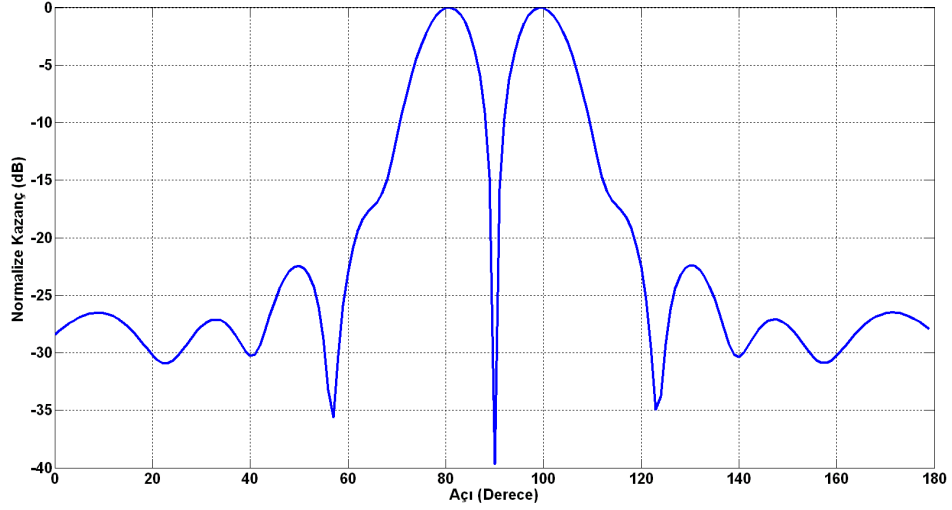
Sonuçtan da görüldüğü üzere eleman ışıma diyagramının dairesel dizinin fark ışıma diyagramına etkisi önemlidir ve bu nedenle ışıma diyagramı parametrelerini sağlayacak uygun elemanın seçilmesi gerekmektedir.

Dipol elemanının kullanıldığı dairesel dizilerde yan kulakçık seviyeleri ana hüzmenden uzaklaştıkça artmaktaydı. Bu durum dipol antenin yönsüz ışıma diyagramından kaynaklanmaktadır. Dipol antenin ışıma diyagramının arka kısımlara olan etkisini azaltabilmek amacıyla dizinin arkasına bir reflektör eklenerek analizler gerçekleştirilmiştir. Dizinin bu hali Şekil 5.22’de gösterilmiştir.



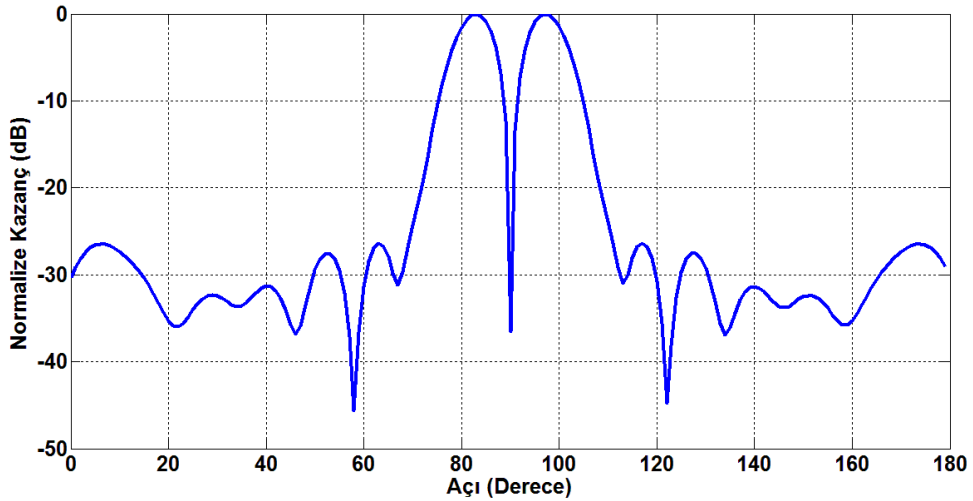
Şekil 5.22 Reflektörlü dipol dairesel dizi

36 adet dipol antenden oluşan ve bu elemanlardan aynı anda 16 tanesinin beslendiği dairesel dizi için elemanlar arası mesafe dalgaboyunun 0.43 katı olduğunda -30dB yan kulakçık seviyesi elde etmek için tez kapsamında hesaplanan besleme katsayıları kullanıldığında ve dizinin arkasına reflektör eklendiğinde elde edilen simetrik fark ışıma diyagramı Şekil 5.23’de gösterilmiştir. Besleme genlik katsayıları ise Çizelge 5.4 ile aynıdır.



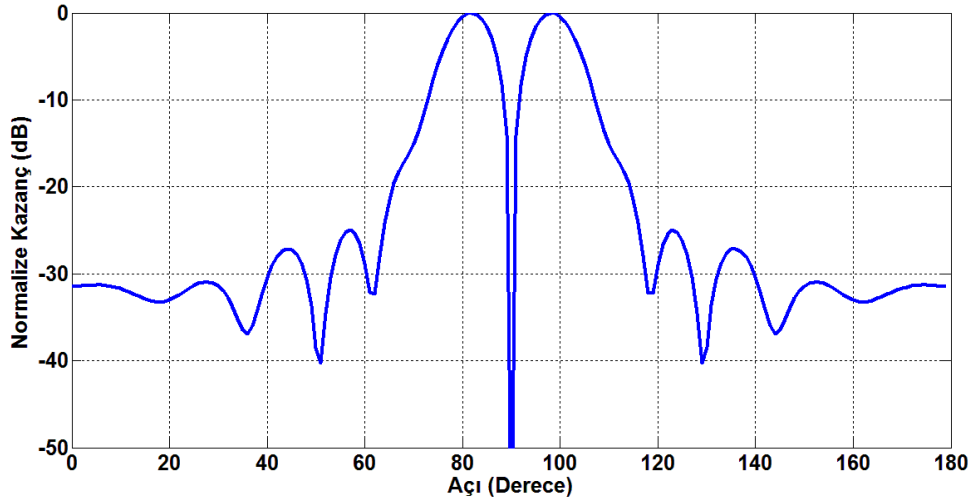
Şekil 5.23 16/36 dipol dairesel dizi -30 dB yan kulakçık seviyesi için hesaplanan katsayılara göre dizinin arkasına reflektör yerleştirilmişken elde edilen simetrik fark ışıma diyagramı

36 adet dipol antenden oluşan ve bu elemanlardan aynı anda 16 tanesinin beslendiği dairesel dizi için elemanlar arası mesafe dalgaboyunun 0.6 katı olduğu durumda -30dB yan kulakçık seviyesi elde etmek için tez kapsamında hesaplanan besleme katsayıları kullanıldığında ve dizinin arkasına reflektör eklendiğinde elde edilen simetrik fark ışıma diyagramı Şekil 5.24’de gösterilmiştir. Besleme genlik katsayıları ise Çizelge 5.7 ile aynıdır.



Şekil 5.24 16/36 dipol dairesel dizi -30 dB yan kulakçık seviyesi için hesaplanan katsayılara göre dizinin arkasına reflektör yerleştirilmişken ve elemanlar arası mesafe 0.6λ iken elde edilen simetrik fark ışıma diyagramı

36 adet dipol antenden oluşan ve bu elemanlardan aynı anda 16 tanesinin beslendiği dairesel dizi için elemanlar arası mesafe dalgaboyunun 0.5 katı olduğu durumda -30dB yan kulakçık seviyesi elde etmek için tez kapsamında hesaplanan besleme katsayıları kullanıldığında ve dizinin arkasına reflektör eklendiğinde elde edilen simetrik fark ışıma diyagramı Şekil 5.25’de gösterilmiştir. Besleme genlik katsayıları ise Çizelge 5.5 ile aynıdır.



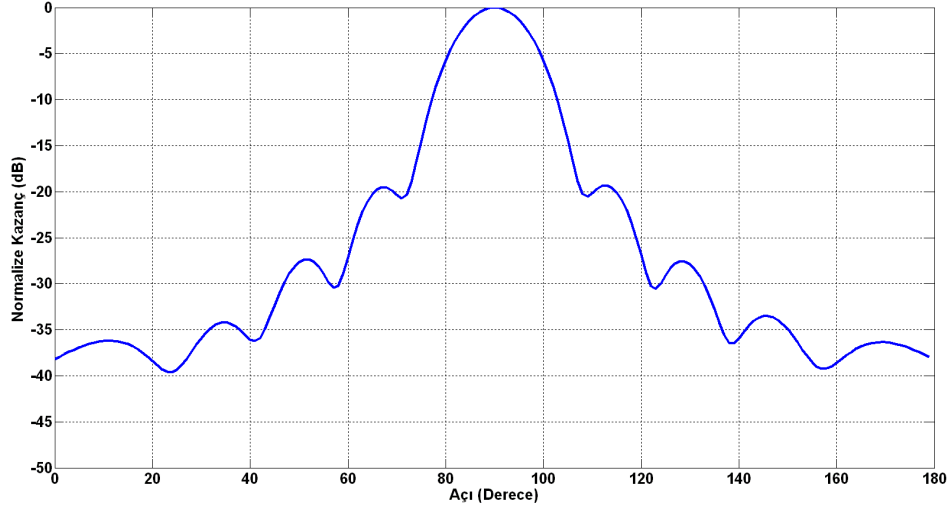
Şekil 5.25 16/36 dipol dairesel dizi -30 dB yan kulakçık seviyesi için hesaplanan katsayılara göre dizinin arkasına reflektör yerleştirilmişken ve elemanlar arası mesafe 0.5λ iken elde edilen simetrik fark ışıma diyagramı

Dipol antenin arkasına reflektör konulduğunda ve elemanlar arası mesafe uygun bir şekilde seçildiğinde tez kapsamında hesaplanan katsayılar kullanılarak çok başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

5.1 Toplam Işıma Diyagram Analizleri

Dairesel dizilerde fark ışıma diyagramı analizleri tamamlanıp başarılı sonuçlar elde edildikten sonra toplam ışıma diyagramına ilişkin analizler gerçekleştirilmiştir.

36 adet yama antenden oluşan ve bu elemanlardan aynı anda 16 tanesinin beslendiği yüzey uyumlu dairesel dizi için elemanlar arası mesafe dalgaboyunun 0.389 katı olduğu durumda -30dB yan kulakçık seviyesi elde etmek için Taylor besleme katsayıları kullanıldığında elde edilen simetrik fark ışıma diyagramı Şekil 5.26’da, besleme genlik katsayıları ise Çizelge 5.9’da gösterilmiştir.

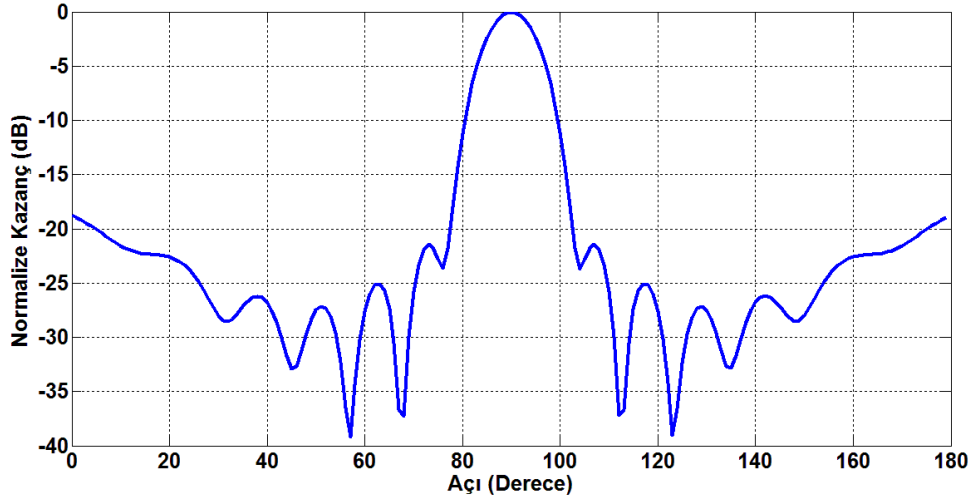


Şekil 5.26 16/36 yama dairesel dizi -30 dB yan kulakçık seviyesi için Taylor besleme katsayılarına göre elde edilen simetrik toplam ışıma diyagramı

Çizelge 5.9 16/36 yama dairesel dizi -30 dB yan kulakçık seviyesi için Taylor besleme katsayıları

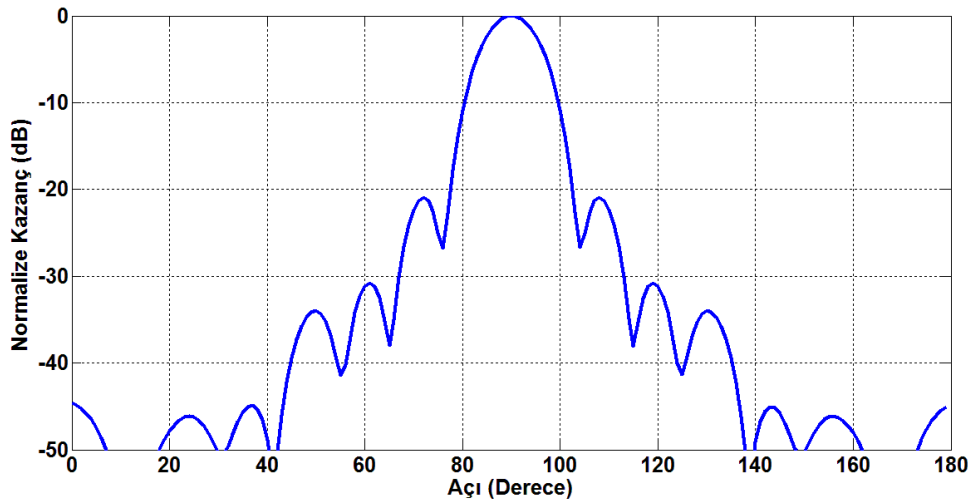
1/8	0.0902	0.1974	0.3337	0.4893	0.6500	0.7994	0.9208	1
9/16	1	0.9208	0.7994	0.6500	0.4893	0.3337	0.1974	0.0902

36 adet dipol antenden oluşan ve bu elemanlardan aynı anda 16 tanesinin beslendiği dairesel dizi için elemanlar arası mesafe dalgaboyunun 0.5 katı olduğu durumda -30dB yan kulakçık seviyesi elde etmek için Taylor besleme katsayıları kullanıldığında elde edilen simetrik fark ışıma diyagramı Şekil 5.27’de, gösterilmiştir. Besleme genlik katsayıları ise Çizelge 5.8 ile aynıdır.



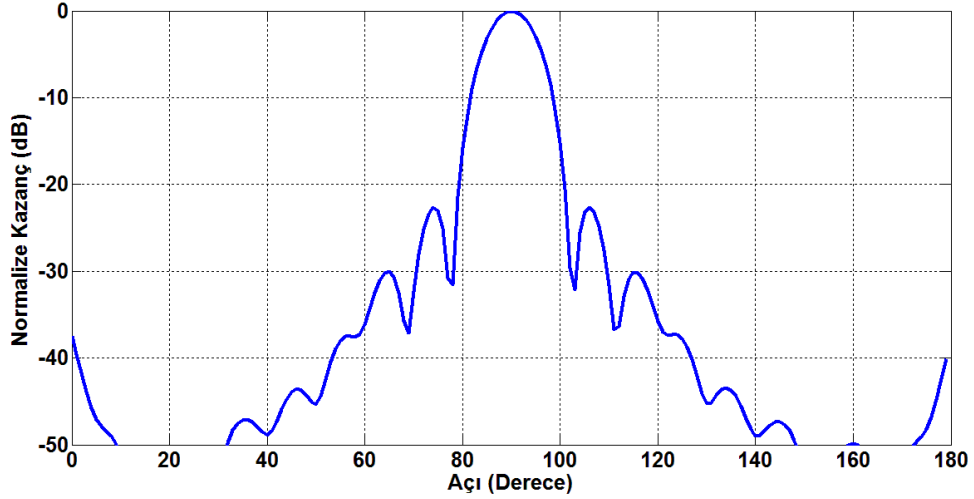
Şekil 5.27 16/36 dipol dairesel dizi -30 dB yan kulakçık seviyesi için Taylor besleme katsayılarına göre elde edilen simetrik toplam ışıma diyagramı

36 adet dipol antenden oluşan ve bu elemanlardan aynı anda 16 tanesinin beslendiği dairesel dizi için elemanlar arası mesafe dalgaboyunun 0.5 katı olduğu durumda -30dB yan kulakçık seviyesi elde etmek için Taylor besleme katsayıları kullanıldığında ve dizinin arkasına reflektör konulduğunda elde edilen simetrik fark ışıma diyagramı Şekil 5.28’de, gösterilmiştir. Besleme genlik katsayıları ise Çizelge 5.8 ile aynıdır.



Şekil 5.28 16/36 dipol dairesel dizi -30 dB yan kulakçık seviyesi için dizinin arkasına reflektör konulduğunda Taylor besleme katsayılarına göre elde edilen simetrik toplam ışıma diyagramı

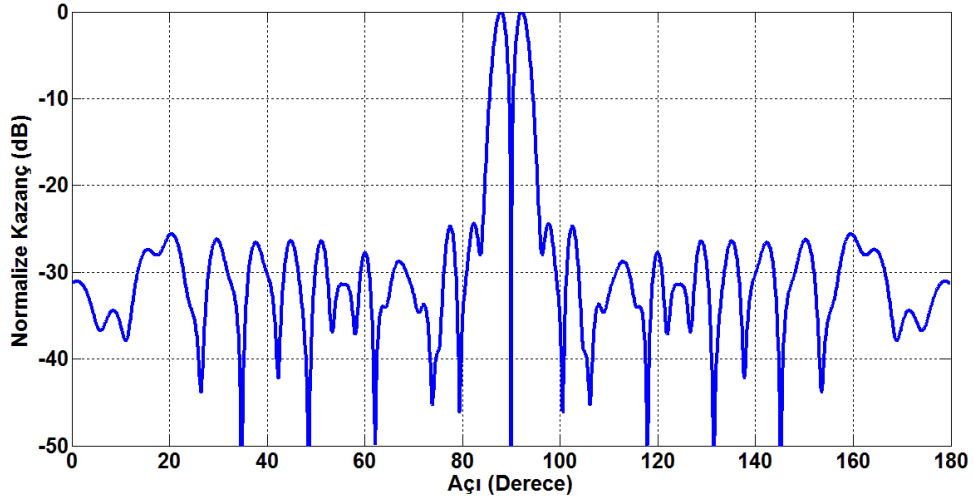
36 adet dipol antenden oluşan ve bu elemanlardan aynı anda 16 tanesinin beslendiği dairesel dizi için elemanlar arası mesafe dalgaboyunun 0.6 katı olduğu durumda -30dB yan kulakçık seviyesi elde etmek için Taylor besleme katsayıları kullanıldığında ve dizinin arkasına reflektör konulduğunda elde edilen simetrik fark ışıma diyagramı Şekil 5.29’da, gösterilmiştir. Besleme genlik katsayıları ise Çizelge 5.8 ile aynıdır.



Şekil 5.29 16/36 dipol dairesel dizi -30 dB yan kulakçık seviyesi için dizinin arkasına reflektör konulduğunda elemanlar arası mesafe 0.6λ iken Taylor besleme katsayılarına göre elde edilen simetrik toplam ışıma diyagramı

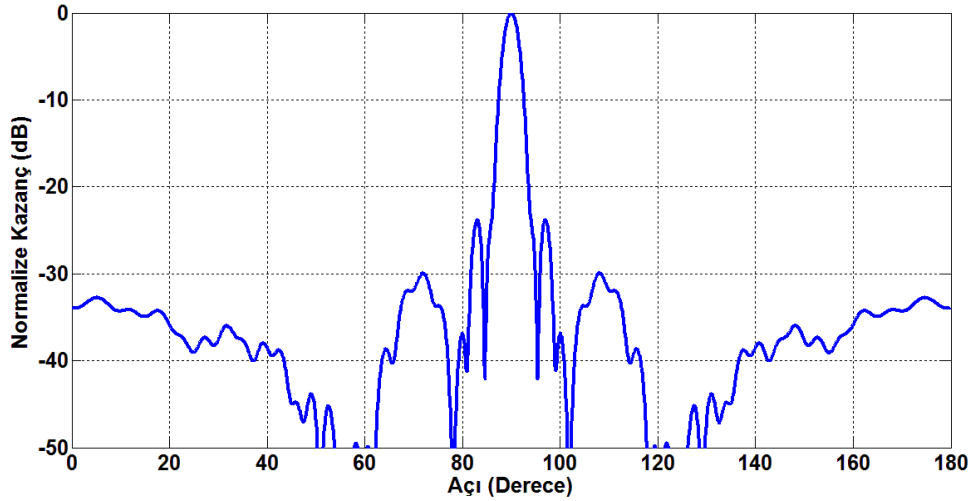
Son olarak dar bir hüzme genişliği elde edebilmek için eleman sayısı artırılarak analizler gerçekleştirilmiştir.

144 adet Yagi antenden oluşan ve bu elemanlardan aynı anda 64 tanesinin beslendiği dairesel dizi için elemanlar arası mesafe dalgaboyunun 0.5 katı olduğu durumda -30dB yan kulakçık seviyesi elde etmek için tez kapsamında hesaplanan besleme katsayıları kullanıldığında elde edilen simetrik fark ışıma diyagramı Şekil 5.30’da gösterilmiştir.



Şekil 5.30 144/64 Yagi dairesel dizi -30 dB yan kulakçık seviyesi için hesaplanan katsayılaraya göre elde edilen simetrik fark ışıma diyagramı

144 adet Yagi antenden oluşan ve bu elemanlardan aynı anda 64 tanesinin beslendiği dairesel dizi için elemanlar arası mesafe dalgaboyunun 0.5 katı olduğu durumda -30dB yan kulakçık seviyesi elde etmek için Taylor besleme katsayıları kullanıldığında elde edilen simetrik toplam ışıma diyagramı Şekil 5.31’de gösterilmiştir.

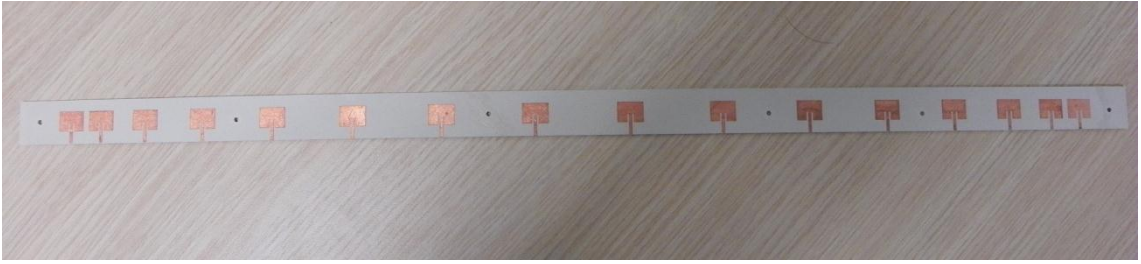


Şekil 5.31 144/64 Yagi dairesel dizi -30 dB yan kulakçık seviyesi için Taylor besleme katsayılarına göre elde edilen simetrik toplam ışıma diyagramı

GERÇEKLEME VE ÖLÇÜM

Benzetim çalışmaları tamamlandıktan sonra örnek bir dizi anten tasarımı ve üretimi gerçekleştirilmiştir. Üç farklı anten tipinden yama anten ürettirilmek üzere seçilmiştir. Çünkü yama antenin üretim maliyeti düşüktür, üretim aşamaları nispeten daha kolaydır ve anten empedansının 50Ω değerine uydurulması işlemi mikroşerit hatlar kullanılarak yapılabilir. Dipol ve Yagi anten tiplerinde empedans uydurma işlemleri için balun adı verilen ek devrelere ihtiyaç duyulmakta bu da tasarım ve üretim süreçlerini zorlaştırmaktadır. Yama antende pin, elektromanyetik kuplaj, kenar, inset gibi çeşitli besleme teknikleri kullanılmaktadır. Tasarımda besleme genlik katsayıları bir mikro şerit güç bölücü ile sağlanacağından inset besleme yöntemi tercih edilmiştir. Böylece güç bölücü ile yama anten dizisi faz sabit kablolar yardımıyla birbirine bağlanabilir. Böylece fazladan devre veya aparata ihtiyaç duyulmamıştır. Inset besleme yama antende, antenin yapılacağı malzemenin dielektrik katsayısına ve malzeme kalınlığına göre yamanın uzunluk ve genişlik değerleri hesaplanır. Ardından empedans uyumunu sağlamak için inset kısmının derinliği, hattın genişliği ve uzunluğu hesaplanır. İlk hesaplamalardan elde edilen yama anteninin benzetim çalışmaları yapılır. Inset derinliği, besleme yeri gibi parametrelerde uygun değişiklikler yapılarak istenilen frekansta çalışan yama anteni tasarlanır. Tasarımı biten yama antenin Gerber ismi verilen üretim dosyaları CST programından alınarak Altium benzeri baskı devre çizim programına aktarılır ve burada üretime hazır hale getirilir. Tez kapsamında ise dairesel dizinin izdüşümü alındıktan sonra elde edilen eş aralıklı olmayan dizide yama antenlerin er alacağı eleman yerleri belirlenmiştir. Yama antenlerin iç içe geçmemesi

için boyutlarının küçültülmesi gerekmektedir. Bu nedenle antenin ürettirileceği malzemenin dielektrik katsayısının yüksek olması gerekmektedir. Bunu gerçekleştirebilmek için dielektrik katsayısı 9.8 olan Rogers TMM 10i malzemesi üretim malzemesi olarak seçilmiştir. Tek bir antenin benzetim çalışmaları gerçekleştirilmiş ve daha sonra eş aralıklı olmayan dizi anten tasarlanarak analiz edilmiştir. Ardından eş aralıklı olmayan dizinin üretim dosyaları hazırlanarak üretimi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen dizi anten Şekil 6.1’de gösterilmiştir.



Şekil 6.1 16 elemanlı eş aralıklı olmayan yama anten dizisi

Oluşturulan dizinin tez kapsamında hesaplanan katsayılara göre beslenebilmesi için bu katsayı oranlarını sağlayacak bir mikro şerit güç bölücü tasarımı gerçekleştirilmiştir. T jonksiyon güç bölücüleri güç bölme ve birleştirme amacıyla kullanılan üç portlu yapılardır [57]. Kayıpsız bir T jonksiyon güç bölücü üç ayrı iletim hattı olarak tasarlanabilir. Genellikle bu tip bir jonksiyonda saçak alanlar ve yüksek dereceli modlar oluşabilmektedir ve bu etkiler bir süseptans, B , değeri ile ifade edilmektedir. Karakteristik empedansı Z_0 olan giriş hattına bölücüyü uyumlu hale getirebilmek için aşağıdaki eşitlik sağlanmalıdır.

$$Y_{in} = jB + \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} = \frac{1}{Z_0} \quad (6.1)$$

İletim hatlarının kayıpsız olduğu düşünülürse bu durumda karakteristik empedanslar reel olur. Eğer $B = 0$ olarak kabul edilirse Eşitlik (6.1) aşağıdaki gibi olacaktır.

$$\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} = \frac{1}{Z_0} \quad (6.2)$$

Çıkış hat empedansları Z_1 ve Z_2 istenilen güç bölme oranlarını sağlayacak şekilde seçilmektedir. Örneğin 50Ω bir giriş hattında eş bölme işlemi 100Ω iki hat kullanılmasıyla elde edilir. Bir örnek olarak 3:1 bölme oranı olan ve jonksiyondaki gerilimi V_0 olan bir güç bölücü için hat empedansları aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$P_{in} = \frac{1}{2} \frac{V_0^2}{Z_0}, P_1 = \frac{1}{2} \frac{V_0^2}{Z_1} = \frac{1}{3} P_{in}, P_{12} = \frac{1}{2} \frac{V_0^2}{Z_2} = \frac{2}{3} P_{in} \quad (6.3)$$

$$Z_1 = 3Z_0 = 150 \Omega \text{ ve } Z_2 = 3/2Z_0 = 75\Omega \quad (6.4)$$

Tez kapsamında gerçekleştirilen güç bölücü devresi için hem giriş hattı hem de çıkış hattı 50Ω empedans değerine sahiptir. Bu nedenle bölme oranını sağlayan hatlar tekrar 50Ω empedans değeri ile sonlanmalıdır. Bu amaçla çeyrek dalga empedans dönüştürücüleri kullanılmıştır. Güç bölücü tasarlanırken izlenilen yol şu şekildedir.

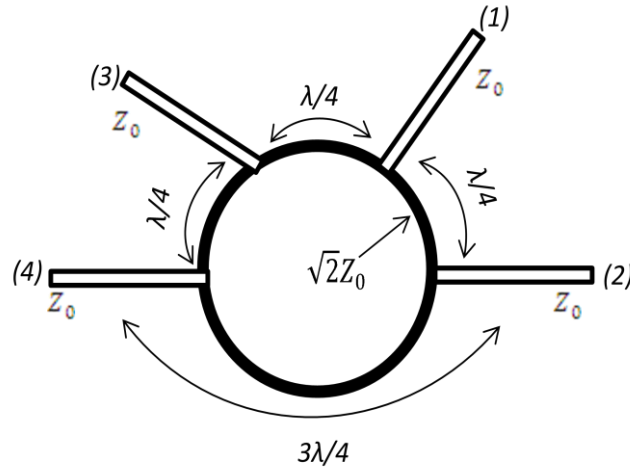
- Öncelikle bölme oranını sağlayan hat empedansları Eşitlik (6.3) ve Eşitlik (6.4)'tekigibi hesaplanır.
- Ardından çeyrek dalga dönüştürücü empedansı $\sqrt{Z_0 Z_1}$ formülü kullanılarak hesaplanır.
- Hesaplanan çeyrek dalga empedansını sağlayan hat genişlik ve uzunluğu kullanılan malzemenin dielektrik katsayısı ve kalınlığına göre hesaplanır.

Dizi elemanlarının besleme genlik katsayıları Çizelge 5.72'de gösterildiği gibidir. Örneğin ilk iki katsayının oranı 1.074'tür. Bu oranı sağlayan hat empedansları ve çeyrek dalga dönüştürücü empedansları hesaplanmış ve bu değerlere göre de hat uzunluk ve kalınlıkları hesaplanmıştır. Bu şekilde dört adet güç bölücü ayrı ayrı tasarlanmıştır. Bu dört bölücüyü bağlayan iki bölücü tasarımı ile bu iki bölücüyü bağlayan bir bölücü tasarımı daha gerçekleştirilmiştir. Böylece sekizli güç bölücü tamamlanmış olur. Dizi simetrik olduğu için dönüştürücü de simetrik olarak tasarlanabilir. Böylece 16'lı güç bölücü devresinin tasarımı tamamlanmıştır. Güç bölücünün birleştirilmiş halinin benzetim çalışmaları gerçekleştirilerek çıkışların istenilen oranları sağlayıp sağlayamadığı test edilmiştir. İstenilen oranlar sağlandıktan sonra güç bölücünün üretim dosyaları hazırlanmıştır. Üretim aşamasında hat kalınlığının 200 mikrondan az olamamasını sağlamak amacıyla Rogers 5880 malzemesi kullanılmıştır. Mikro şerit güç bölücü Şekil 6.2'de gösterilmiştir.



Şekil 6.2 16 elemanlı mikro şerit güç bölücü

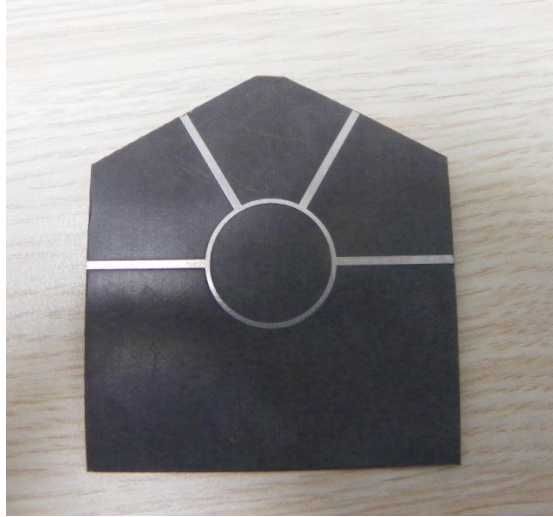
Fark ışıma diyagramı elde edebilmek için dizinin bir yarısı diğer yarısına göre 180 derece faz farkı ile beslenmelidir. Bunu sağlayabilmek için 180 derece hibrid kuplör tasarımı gerçekleştirilmiştir. 180 derece Hibrid kuplör iki çıkış portu arasında 180 derecelik bir faz farkı sağlayan dört portlu bir yapıdır. Çıkışlar aynı fazda olacak şekilde de çalıştırılabilir.



Şekil 6.3 Mikroşerit halka hibrid

Şekil 6.3'te gösterildiği gibi hibrid kuplörün 4. Portuna sinyal uygulandığında bu sinyal aralarında 180 derece faz farkı bulunan eşit güçte iki sinyale bölünür. Bu sinyaller port 2 ve port 3'ten alınır. Port 1 ise izole edilir. Birleştirici olarak kullanıldığında giriş sinyalleri port 2 ve port 3'e uygulanır. Sinyallerin toplamı port 1'den alınır farkları ise port 4'ten alınır. Bu nedenle port 1 ve port 4 toplam ve fark portları olarak isimlendirilir. Tasarımda halkanın empedansını ($\sqrt{2}Z_0$) sağlayan hat uzunluk ve genişliği kullanılan mazemenin özellikleri göz önüne alınarak hesaplanır. Ardından tüm portların empedansını sağlayan hat uzunluk ve genişlikleri hesaplanır. Hibrid kuplörün CST programı ile benzetim çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Sonuçta gücün iki portta eşit

şekilde bölündüğü ve aralarında 180 derece fark olduğu durum elde edilmiş ve tasarım tamamlanmıştır. Ardından üretim dosyaları hazırlanarak küplör ürettirilmiştir. Kuplör güç bölücü ile aynı malzeme kullanılarak üretilmiştir. Böylece istenilen genlik besleme katsayılarının uygulanabildiği ve fark ışıma diyagramı üretebilen bir dizi anten tamamlanmış olmaktadır. Tasarlanan hibrid kuplör Şekil 6.4'te gösterilmiştir.



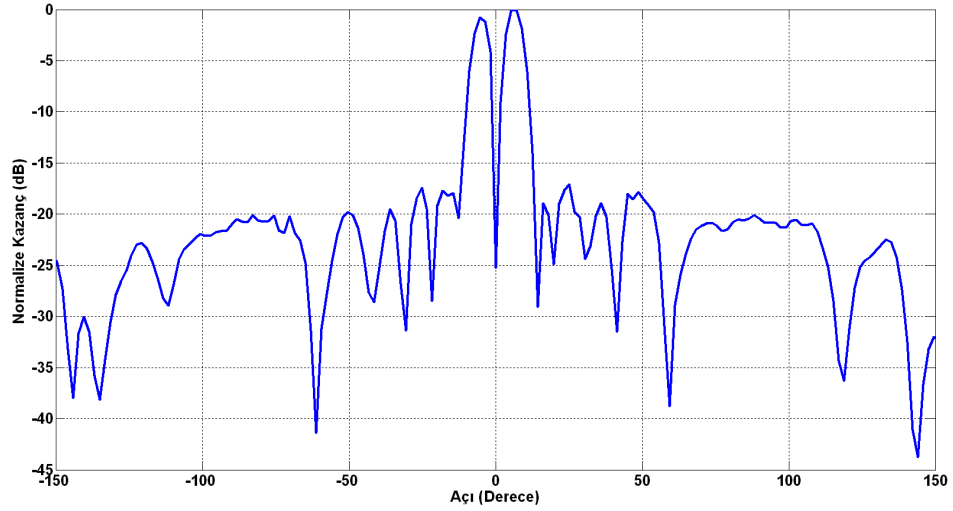
Şekil 6.4 180 derece hibrid kuplör

Anten dizisi ile güç bölücü birimi ve hibrid kuplörün birbirlerine bağlanabilmesi için Astrolab minibend 8 kabloları kullanılmıştır. Bu şekilde montajı tamamlanan anten dizi sistemi bir köpük üzerine sabitlenmiş ve küresel yakın alan ölçüm sisteminde ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

Yakın alan testleri ölçümü yapılmak istenilen antene çok yakın bir yüzey üzerinde alan örnekleri alınarak yapılır. Toplanan faz ve genlik değerleri alan değerlerinin toplandığı yüzeyin şekline göre matematiksel dönüşümler ile işlenir ve uzak alan ışıma diyagramı çıkarılır. Küresel yakın alan ölçüm alanı geometrisi ölçülmek istenilen antenin içinde bulunduğu küre yüzeyi üzerinde prob antenin konumlandırılabilirdiği bir mekanik sisteme ihtiyaç duymaktadır. Prob anten birbirine dik her iki polarizasyon durumunda ölçülmek istenilen antenin içinde bulunduğu kürenin merkezine doğrutulmuş durumda olmalıdır. Küresel yakın alan ölçüm sisteminde ölçülmek istenilen antenin içerisinde bulunduğu en küçük küre yüzeyi üzerinde ölçüm verileri almaktadır. Diğer yakın alan

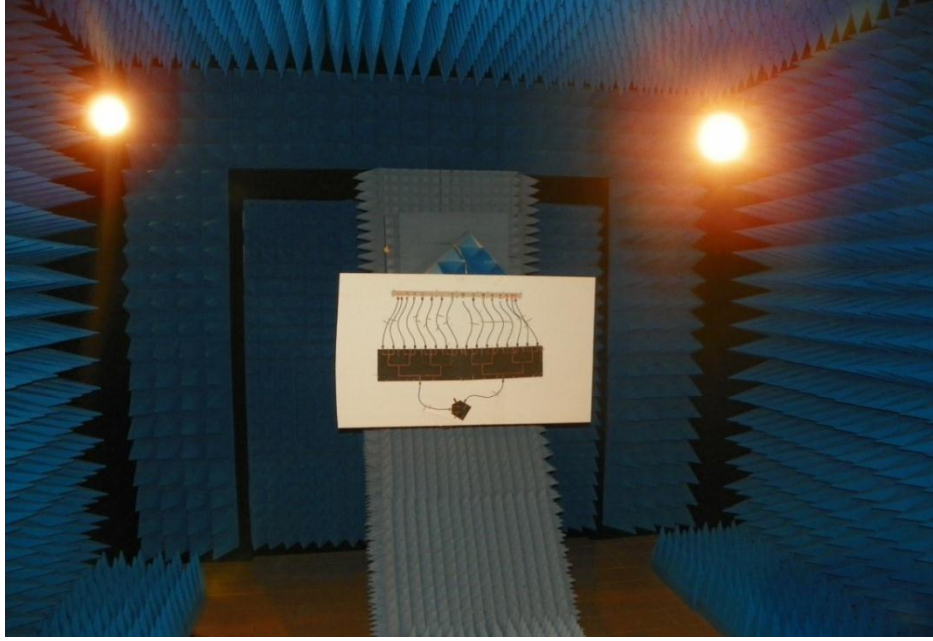
ölçüm isitemlerine göre avantajı ise bu sayede 360 derece ışıma diyagramı elde edebilmesidir.

Gerçekleştirilen 16 elemanlı eş aralıklı olmayan dizi anten, besleme genlik değerlerini sağlayan güç bölücü yapısı ile hibrid kuplör birleştirildikten sonra elde edilen ölçüm sonucu Şekil 6.5'te gösterilmiştir.

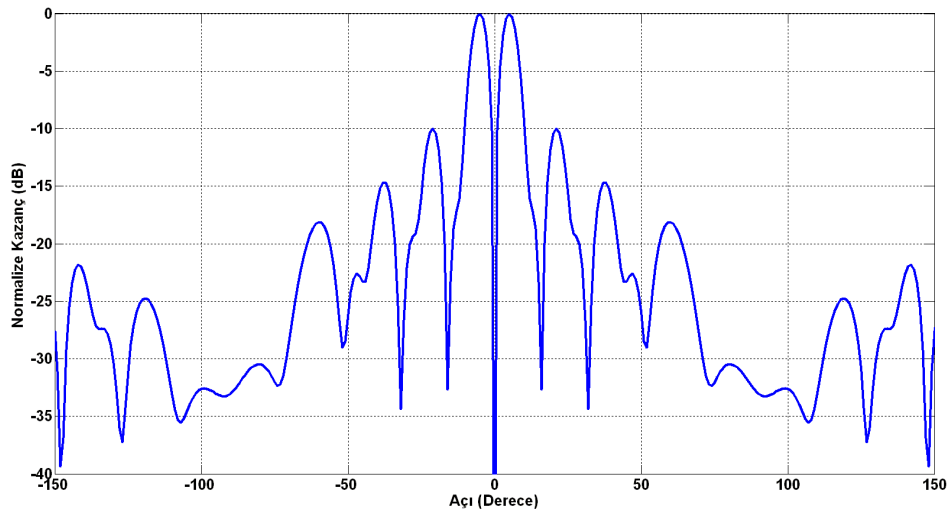


Şekil 6.5 16 elemanlı eş aralıklı olmayan yama anten dizisi fark ışıma diyagramı

Ölçümler Agilent E8362C vektör network analizör ve NSI 2000 bilgisayar programı ile gerçekleştirilmiştir. Network analizör ile bilgisayar birbirlerine data kabloları ile bağlanmıştır. Eksen dönmelerini kontrol eden kontrol cihazları ile motorlar RF kablolarla birbirine bağlanmıştır. Sistem açıldıktan sonra bilgisayar programı aracılığıyla network analizör otomatik olarak kalibre edilmektedir. Ölçüm için bilgisayar program arayüzünde ölçülecek antenin boyutları, anteni kapsayan kürenin yarıçapı, ölçüm yapılacak frekans değerleri ve prob anten bilgisi girilerek ölçüm işlemi başlatılmaktadır. Ölçümün yapıldığı küresel yakın alan sistemi ise Şekil 6.6'da gösterilmiştir.



Şekil 6.6 16 elemanlı eş aralıklı olmayan yama anten dizisi ölçüm ortamı



Şekil 6.7 16 elemanlı eş aralıklı olmayan yama anten dizisinin eş genlik besleme durumunda elde edilen fark ışıma diyagramı

Yama antenin kullanıldığı bu dizi için fark ışıma diyagramında düşük yan kulakçık seviyeleri elde edilmiştir. Eş besleme durumunda yan kulakçık seviyeleri Şekil 6.7’den de görüldüğü gib -10 dB seviyelerindedir. Gerçekleştirilen anten dizisi ve güç bölücü yapısı sayesinde ilk yan kulakçık seviyeleri 7-8 dB kadar düşürülmüştür. Gerçekleştirilen anten dizisi, güç bölücü ve kuplörülü sistemde yan kulakçık seviyeleri benzetim çalışmalarında elde edilen sonuçlara göre 3-4 dB kadar daha yüksektedir. Bunun nedenleri ise şu şekilde özetlenebilir;

Benzetim çalışmalarında dizinin bir yarısı diğır yarısına göre tam 180 derece faz farkı ile beslenmektedir. Bunu sağlayan kuplör ise tam 180 derece faz farkını sağlayamayabilir. Faz farkları birkaç derece değişiklik göstermektedir.

Benzetim çalışmalarında hesaplanan katsayılar doğrudan kullanılabilir. Ancak üretilen gblc birimi bu katsayıları tam doğru şekilde vermemektedir. Oranlar bir miktar değişim göstermektedir. Ayrıca mikroşerit g bölücü biriminin kendisi de ışma yapmakta ve bu durum anten dizisinin ışma diyagramına bozucu etki yapmaktadır.

Anten elemanları benzetim çalışmalarında birebir aynıdır ve aynı frekansta rezonansa gelmektedir. rettirilen anten dizisinde ise üretim kalitesi ve hassasiyetine bağlı olarak antenlerin çalışma rezonans frekansları bir miktar kayma göstermektedir.

Ayrıca anten dizisi ile g bölücü birimlerini birbirine bağlayan kablolarda genlik ve faz kaymalarına neden olmaktadır. Buna ek olarak her bir kablo aynı şekilde davranmamaktadır. Bazı kablolar daha yüksek genlik ve faz değişimlerine sahip olabilmektedir.

Tüm bu bozucu etkiler nedeniyle yan kulakçık seviyelerinde bir miktar artış olması beklenmektedir. Ancak tüm bu bozucu etkilere rağmen iyi seviyede yan kulakçıklara sahip fark ışma diyagramı elde edilmiştir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez kapsamında dost düşman tanıma sistemlerinde kullanılan dairesel dizilerin aynı anda beslenen kısmının bir doğru üzerine iz düşümünün alınmasıyla eş aralıklı olmayan bir dizi anten elde edilmiştir. Elde edilen bu eş aralıklı olmayan dizi anten yapısı için çizgisel kaynak dağılımı kullanılarak model ve asimptotik fark ışıma diyagram fonksiyonları elde edilmiştir. Elde edilen asimptotik fark ışıma diyagramı Fourier-Bessel serileri cinsinden yazılarak Bessel katsayıları elde edilmiştir. Hesaplanan Bessel katsayıları açıklık fonksiyonuna girilerek yan kulakçık seviyelerini düşürebilmek için gerekli olan besleme genlik katsayıları elde edilmiştir.

Katsayılar hesaplandıktan sonra üç farklı anten yapısının kullanıldığı eş aralıklı olmayan ve dairesel dizi anten yapıları oluşturulmuş ve benzetim çalışmaları yapılmıştır. Geleneksel besleme durumlarının istenilen yan kulakçık seviyelerini sağlayamadığı ancak tezde önerilen method ile hesaplanan katsayıların üç farklı anten türü için de istenilen düşük yan kulakçık seviyeli fark ışıma diyagramlarını sağladığı görülmüştür. Yani IFF antenleri için uygun besleme genlik katsayıları hesaplanabilir durumdadır. Ayrıca üç farklı anten yapısı ile anten ışıma diyagramının fark ışıma diyagramına etkileri de gösterilmiştir. Fark ışıma diyagramlarının ardında IFF antenleri için toplam ışıma diyagramı analizleri de gerçekleştirilmiştir.

Benzetim çalışmaları tamamlandıktan sonra 16 elemandan oluşan eş aralıklı olmayan bir yama anten dizisi tasarlanarak üretimi gerçekleştirilmiştir. Mikro şerit güç bölücüyle doğrudan beslenebildiği için yama anten dizisi tercih edilmiştir. Hesaplanan besleme

genlik katsayılarını elde edebilmek için 16'lı mikro şerit güç bölücü tasarlanmış ve üretimi gerçekleştirilmiştir. Fark ışıma diyagramı oluşturabilmek için ise bir 180 derece hibrid kuplör tasarlanmış ve üretimi gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışma ile elde edilen sonuçlara göre, özel bir dizi yapısı olan IFF anten dizileri için fark ışıma diyagramlarında düşük yan kulakçık seviyeleri elde edebilmek amacıyla önerilen metodun kullanılabileceği ve ayrıca anten seçiminin de dikkate alınmasıyla başarılı ışıma diyagramlarına sahip ikincil radar antenleri tasarlamının mümkün olduğu görülmüştür.

- [1] Parker, D. ve Zimmermann, D. C., (2002). "Phased arrays—part I: theory and architectures", IEEE Trans. Microwave Theory Tech, 50:678-687.
- [2] Parker, D. ve Zimmermann, D. C., (2002). "Phased arrays—part II: implementations, applications and future trends", IEEE Trans. Microwave Theory Tech, 50:688-698.
- [3] Cheng, D. K., (1989). Field and Wave Electromagnetics, Second Edition, Addison-Wesley., MA.
- [4] Volakis, J. L., (2007). Antenna Engineering Handbook, Fourth Edition, McGraw-Hill., New York.
- [5] Mailloux, R. J., (2005). Phased Array Antenna Handbook, Second Edition, Artech House., Boston.
- [6] Hansen, R. C., (2001). Phased Array Antennas, John Wiley & Sons., Boston.
- [7] Brookner, E., (1991). Practical Phased-Array Antenna Systems, Artech House., Boston.
- [8] Stimson, G. W., (1998). Introduction to Airborne Radar, Second Edition, SciTech Publishing., NJ.
- [9] Hansen, R.C., (1964). Microwave Scanning Antennas, Academic Press., New York.
- [10] Alakija, C., Stapleton, S. P., (1992). "A mobile base station phased array antenna", Wireless Communications Conference Proceedings.
- [11] Orfanidis, S. J., (2008). Electromagnetic Waves and Antennas, ECE Dept., Rutgers University., Boston.
- [12] Elliott, R. S., (1981). Antenna Theory and Design, Prentice-Hall., NJ.
- [13] Bayliss, E., T., (1986). "Design of monopulse antenna difference patterns with low side lobes", Bell Syst. Tech. J, 47:623-650.
- [14] Taylor, T.T., (1960). "Design of Circular Apertures for Narrow Beamwidth and Low Sidelobes", IRE Trans. Antennas and Propagation, 8:17-22.

- [15] Harrington, R.F., (1961). Time Harmonic Electromagnetic Fields, Mc Graw-Hill Book Co., New York.
- [16] Plonsey, R., (1961). "Aperture Fields", IRE Trans. Antennas and Propagation, 9:577.
- [17] Ruze, J., (1964). "Circular Aperture Synthesis", IEEE Trans. Antennas and Propagation, 12:691-694.
- [18] Dolph, F., (1946). "A current distribution for broadside arrays which optimizes the relationship between beamwidth and side lobe level", Proc. IRE, 335-348.
- [19] Sinclair, G. ve Cairns, F. V., (1952). "Optimum patterns for broadside arrays of non-isotropic sources", IRE Trans. Antennas and Propagation, 1:50-61.
- [20] Silver, R.F., (1961). Microwave Antenna Theory and Design, MIT Radiation Laboratory Series, Mc Graw-Hill Book Co., New York.
- [21] Kirkpatrick, G. M., (1953). "Aperture illuminations for radar angle of arrival measurements", IRE Trans. Aeronautical and Navigational Elec, 9:20-27
- [22] Holzman, E. ve Agrawal A. (1996). "A comparison of active phased array, corporate beamforming architectures", IEEE Intl. Phased Array Syst. Technol. Symp. Dig., Ekim 1996, Boston, Massachusetts.
- [23] Foster, P., Grigson, M. ve Wheatley, C., (1997). "D band IFF for army air defence systems", Radar Symposium 97, Ekim 1997.
- [24] Kolosowski, W., Sedek, E., Borejko, M., ve Jeziorski, A., (2008). "Monopulse IFF Antennas", 17th International Microwaves, Radar and Wireless Communications Conference.
- [25] Eadie, J., Hart, S., Charette, D., ve Jancic, D., (1998). "Multifunction Electromagnetic Radiating System (MERS)", Aerospace Conference.
- [26] Haupt, R., (1982). "Simultaneous nulling in the sum and difference patterns of a monopulse antenna", Rome Air Development Center, 1.
- [27] Ozkara, A., (1992). Methods for improving low-angle, low-altitude radar tracking accuracy, Yüksek Lisans Tezi, Naval Postgraduate School System Engineering.
- [28] Manasse, R., (1960). "Maximum-Angular accuracy of tracking a radio star by lobe comparison", IRE Trans. Antennas and Propagation, 8:50-56.
- [29] Kinsey, R. R., (1962). "Monopulse difference slope and gain standarts", IRE Trans. Antennas and Propagation, 10:343-344.
- [30] Rhodes, D. R., (1959). Introduction to Monopulse, Mc Graw-Hill Book Co., New York.
- [31] McGinn, J. W., Jr., (1966). "Thermal Noise in Amplitude Comparison Monopulse Systems IEEE Trans. Aerospace Elec. Syst., 2:550-556.
- [32] Lopez, A. R., (1968). "Monopulse networks for series feeding an array antenna", IEEE Trans. Antennas Propag, 16:436-440.

- [33] Wu, Q., Liu, M. ve Feng, Z., (2008). "A millimeter wave conformal phased microstrip antenna array on a cylindrical surface", Antennas and Propagation Society International Symposium.
- [34] Tomasic, B., Hessel, A., Herper, J. C., (1986). "Element pattern of an axial dipole in a cylindrical phased array", Rome Air Development Center, 1.
- [35] Sürmeli, K., Buluş, U., Türetken B., (2010). "Dost Düşman Tanıma Sistemleri için Yüzey Uyumlu Dairesel Dizi Anten Tasarımı", V. URSI Türkiye Bilimsel Kongresi ve Ulusal Genel Kurul Toplantısı, Ağustos 2010, Güzelce..
- [36] Herper, J. C., Bucceri, A. M. ve Stangel, J. J., (1990). "An octave band electronic scan cylindrical array", Antennas and Propagation Society International Symposium.
- [37] Josefsson, J. ve Persson, P. (1999). "Conformal array synthesis including mutual coupling", , " Electronic Letters, 35:625-627.
- [38] Munger, D., Vaughn, G., Provencher J. H. ve Gladman, B. R., (1974). "Conical Array Studies", IEEE Trans. Antennas and Propagation, 22:35-43.
- [39] Davies, A. D., ve McCartney, B., (1965). "Cylindrical arrays with electronic beam scanning", Proc. IEE, 112:497-505.
- [40] Sipus, Z., (2010). Program for analysing microstrip patch arrays on circular-cylindrical structures, Doktora Tezi, University of Zagreb Electric engineering and computing, Zagreb.
- [41] Giannini, R., (1969). "An electronically scanned cylindrical array based on a switching and phasing technique", Antennas and Propagation Society International Symposium.
- [42] Walker, S., ve Chatterjee, D., (2008). "Surface Curvature Effects on Element Characteristics in Large, Finite, Conformal Cylindrical Dipole Arrays", Antennas and Propagation Society International Symposium.
- [43] Bozmarova, G., Peshlov, V. ve Slavkov, I., (2003). "Modeling of Small-size Cylindrical Arrays", 17th International Conference on Applied Electromagnetics and Communcation, Ekim 2003.
- [44] Hessel, A., ve Shapira, J., (1977). "Mutual Coupling Coefficients in Collector Arrays on Circular Cylindrical Concave Surfaces", IEEE Trans. Antennas and Propagation, 25:741-747.
- [45] Morton, T., ve Marhefka, R., (2008). "Performance Analysis of Large Cylindrical Arrays Comprised of Subarray Panels", Aeorspace and Electronics Conference.
- [46] Villeneuve, A., ve Behnke, M., Kummer, W., (1982). "Radiating Elements for Hemispherically Scanned Arrays", IEEE Trans. Antennas and Propagation, 30:457-462.
- [47] Kiuchi, E., ve Ueda, I., (1996). "Tactical Cylindrical Active Phased Array Radar", Phased Array Systems and Technology, International Symposium.

- [48] Ertürk, V., Bakır, O., Rojas, R., ve Güner, B., (2006). "Scan Blindness Phenomenon in Conformal Finite Phased Arrays of Printed Dipoles", IEEE Trans. Antennas and Propagation, 54:1699-1708.
- [49] Rostan, F., Gottwald, G., ve Wiesbeck, W., (1994). "Design and Performance of Conformal Microstrip Patch Arrays on Cylindrical Surfaces", 24th Microwave Conference.
- [50] Han, R., (2010). "Simulation of Radiation Characteristics for Cylindrical Conformal Phased Array", Computer and Information Science, 3.
- [51] Sun, R., (2009). "The Computer Simulation of Radiation Pattern for Cylindrical Conformal Microstrip Antenna", Modern Applied Science, 3.
- [52] Small, B. T. Killick, E. A. Croney, J., (1969). "A cylindrical array for electronic scanning", Microwave Conference.
- [53] Lee, J., Chu, R., Livingston, S., ve Koenig, R., (2002). "Ultra Wide Band Cylindrical Array and 360 Degree Beam Scan System", Antennas and Propagation Society International Symposium.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Koray SÜRMELİ
Doğum Tarihi ve Yeri : 11.05.1987 KARS
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : koraysurmeli@uekae.tubitak.gov.tr,
korray87@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2009
Lise		Büyükşehir Hüseyin Yıldız A.L	2005

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2009- Devam ediyor	TÜBİTAK UEKAE	Tasarım ve Geliştirme Mühendisi

YAYINLARI

Bildiri

1. “U-Slot Stacked Patch Antenna Using High and Low Dielectric Constant Material Combinations in S-band”, Koray SÜRMELİ, Bahattin TÜRETKEN, 2011 URSI General Assembly and Scientific Symposium.
2. “Bandwidth Enhancement for U-Slot Stacked Patch Antenna by Using Appropriate Dielectric Materials”, Bahattin TÜRETKEN, Koray SÜRMELİ, 2011 Antenna Measurement Technical Associ
3. “An Experimental Microwave Imaging System for Breast Tumor Detection on Layered Phantom Model”, İlhami ÜNAL, Bahattin TÜRETKEN, Koray SÜRMELİ, Cahit CANBAY, 2011 URSI General Assembly and Scientific Symposium
4. “Aktif Faz Dizili Anten Tasarımına Sayısal Modelleme Tekniğiyle Yeniden Bakış”, Bahattin TÜRETKEN, Koray SÜRMELİ, V.URSI Türkiye 2010 Bilimsel Kongresive Ulusal Genel Kurul Toplantısı
5. “Dost Düşman Tanıma (IFF) Sistemleri İçin Yüzey Uyumlu Dairesel Dizi Anten Tasarımı”, Koray SÜRMELİ , Umut BULUŞ, Bahattin TÜRETKEN, V.URSI Türkiye 2010 Bilimsel Kongresi ve Ulusal Genel Kurul Toplantısı
6. Elektromanyetik Işımayı Önleyen Ergonomik Kapak Tasarımına Yönelik Analizler Mikro Dalga Fırınlar için Örnek Bir Tasarım”, Erkul BAŞARAN, Koray SÜRMELİ, Bahattin TÜRETKEN, 1. Ulusal EMC Konferansı.
7. “Elektromanyetik Dalgalar Kullanılarak Meme Kanseri Tümörünün Tespitine Yönelik Bir Analiz” İlhami Ünal, Bahattin Türetken, Umut BULUŞ, Koray SÜRMELİ, Cahit Canbay, Ulusal Biyoumut Konferansı 2011.
8. “Hacim Tarama Radarları İçin Bir Yüksek Kazançlı Dizi Anten Tasarımı”, Fikret TOKAN, Filiz GÜNEŞ, Bahattin TÜRETKEN, Koray SÜRMELİ, V.URSI Türkiye 2010 Bilimsel Kongresi ve Ulusal Genel Kurul Toplantısı
9. “Yarıklı Dalga Kılavuzu Antenleri Tasarım ve Analiz Yöntemleri”, Bahattin TÜRETKEN, Koray SÜRMELİ, V.URSI Türkiye 2010 Bilimsel Kongresi ve Ulusal Genel Kurul Toplantısı